



**Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia
Escola de Química**

**Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos**

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA
OTIMIZAÇÃO DA ANÁLISE TÉCNICA NO
LICENCIAMENTO AMBIENTAL**

André Luiz Felisberto França

Rio de Janeiro
2017

ANDRÉ LUIZ FELISBERTO FRANÇA

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DA
ANÁLISE TÉCNICA NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadores

Professor Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, D.Sc.
Professora Fabiana Valéria da Fonseca, D.Sc.

Rio de Janeiro
2017

CIP – Catalogação na Publicação

F814d

França, André Luiz Felisberto
DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA
OTIMIZAÇÃO DA ANÁLISE TÉCNICA NO
LICENCIAMENTO AMBIENTAL / André Luiz Felisberto
França. -- Rio de Janeiro, 2017.
290 f.

Orientador: Fernando Luiz Pellegrini Pessoa
Coorientador: Fabiana Valéria da Fonseca.
Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós-Graduação
em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos,
2017.

1. Sustentabilidade. 2. Controle ambiental. 3.
Licenciamento ambiental. 4. Poluição. 5. Impacto
ambiental. I. Pellegrini Pessoa, Fernando Luiz, orient. II.
Fonseca, Fabiana Valéria da, coorient. III. Título.

ANDRÉ LUIZ FELISBERTO FRANÇA

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DA
ANÁLISE TÉCNICA NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovada em ___ de _____ de 2017.

Professor Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, D.Sc., UFRJ

Professora Fabiana Valéria da Fonseca, D.Sc., UFRJ

Professora Lídia Yokoyama, D.Sc., UFRJ

Professor Eduardo Mach Queiroz, D.Sc., UFRJ

Tito Lívio Moitinho Alves, D.Sc., UFRJ

Marco Antonio Gaya de Figueiredo, D.Sc., UERJ

Ligia Cristina Gonçalves de Siqueira, D.Sc., CETESB

Rio de Janeiro
2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa e companheira de todos os momentos Keila Klem Rodrigues, à minha mãe Anita Albuquerque França (in memorian), a meu pai Alberto Felisberto (in memorian), à minha tia Neyde Felisberto Martins Ribeiro (in memorian), que foi a primeira pessoa a me explicar o que era doutorado e me apresentar à Universidade, especificamente à querida UFRJ, e aos amigos e familiares que me acompanharam ao longo da minha jornada acadêmica e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao estímulo recebido de familiares e amigos ao longo dessa trajetória, em especial a minha esposa Keila Klem Rodrigues, que esteve ao meu lado em todos os momentos de alegrias e dificuldades.

Um agradecimento especial é reservado a minha querida mãe Anita Albuquerque França, meu pai Alberto Felisberto e minha inspiradora tia Neyde Felisberto Martins Ribeiro, que influenciaram e se esforçaram continuamente para que eu pudesse desfrutar das melhores oportunidades que eles podiam oferecer, mas que infelizmente não puderam presenciar a conclusão dessa importante fase da minha vida acadêmica e pessoal.

Registro um agradecimento muito especial aos meus queridos orientadores Fernando Luiz Pellegrini Pessoa e Fabiana Valéria da Fonseca, por toda colaboração, compreensão e confiança depositada.

Agradeço com muito carinho aos colegas do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), que me proporcionam diariamente oportunidades de crescimento e amadurecimento pessoal e profissional. Como são muitos, cumprimentarei a todos por meio de três servidores públicos com quem tive o privilégio de ter no convívio mais próximo e que tornaram mais gratificante a caminhada no órgão ambiental: Ana Cristina Rangel Henney, Flávia de Oliveira Teixeira e Jose Maria de Mesquita Jr.

Agradeço aos colegas e amigos do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e da Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente (ABEMA), com que tive a oportunidade de participar de debates de altíssimo nível sobre os mais variados temas da agenda ambiental nacional.

Agradeço a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para que esse resultado se tornasse possível e aos cidadãos brasileiros, a quem dedico meus esforços na busca de soluções que contribuam efetivamente para a modernização, simplificação e melhoria dos serviços públicos prestados.

*“Assim, o desafio não é tanto ver o que ninguém ainda tenha visto,
mas pensar, sobre o que todo mundo vê,
como ninguém ainda tenha pensado.”*

Arthur Schopenhauer

RESUMO

FRANÇA, André Luiz Felisberto. **DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DA ANÁLISE TÉCNICA NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL**. Tese (Doutorado em Ciências - Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

A melhoria da celeridade e da qualidade dos serviços prestados pelos órgãos ambientais tem sido uma exigência cada vez mais frequente da sociedade. Ao mesmo tempo, a maioria dos órgãos ambientais dispõe de recursos insuficientes para atendimento da demanda de licenciamento ambiental e de outras diversas, o que estimula a busca por novas ferramentas de gestão pública ambiental. A partir de uma análise profunda dos principais desafios para o licenciamento ambiental, concluiu-se que a subjetividade constitui um dos maiores entraves para a realização de uma análise técnica eficaz e, por conseguinte, de um licenciamento ambiental que colabore de forma efetiva para o desenvolvimento sustentável. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia para otimizar a análise técnica no licenciamento ambiental, tendo em vista as múltiplas, dinâmicas e complexas variáveis que o caracterizam. Os resultados indicaram a viabilidade do desenvolvimento da metodologia e, para demonstrar a sua aplicabilidade, três processos produtivos (fabricação de vidro, cimento e aço) foram selecionados e submetidos à Metodologia do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP). Em seguida, os fluxos de trabalho foram modelados e as informações referentes aos processos produtivos, às medidas de prevenção e controle ambiental e à legislação relacionada foram consolidadas em um modelo baseado em solução BPM (*Business Process Management*), de forma a orientar a realização da análise técnica de forma otimizada, guiando o agente ambiental por um caminho coordenado, lógico e integrado, permitindo a geração automática de relatório de vistoria e, em não havendo não conformidades, a emissão do parecer técnico para subsidiar a emissão da licença ambiental. Assim há potencial para reduzir drasticamente a subjetividade, o retrabalho e tempo e aumentar a qualidade e padronização no processo de licenciamento ambiental, contribuindo para a melhoria do controle e da qualidade ambiental.

Palavras-chave: licenciamento ambiental; prevenção; controle ambiental; poluição; análise técnica; qualidade ambiental.

ABSTRACT

FRANÇA, André Luiz Felisberto. **DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DA ANÁLISE TÉCNICA NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL**. Tese (Doutorado em Ciências - Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Improving the speed and quality of services provided by environmental agencies has been an increasingly frequent requirement of society. At the same time, most of the environmental agencies have insufficient resources to meet the demand for environmental licensing and several others, which stimulates the search for new public management tools. Based on an in-depth analysis of the main challenges for environmental licensing, it was concluded that subjectivity is one of the major obstacles to an efficient technical analysis and, therefore, an environmental licensing that effectively collaborates for the sustainable development. In this sense, the present work aimed to develop a methodology to optimize the technical analysis in the environmental licensing, considering the multiple, dynamic and complex variables that characterize it. The results indicated the feasibility of developing the methodology and, to demonstrate its applicability, three production processes (glass, cement and steel manufacturing) were selected and submitted to the Pollution Sources Diagram Methodology (PSD). Next, the workflows were modeled and the information related to the production processes, the environmental prevention and control measures and related legislation were consolidated in a model based on BPM (Business Process Management) solution, in order to guide the analysis in an optimized way, guiding the environmental agent through a coordinated, logical and integrated path, allowing the automatic generation of an inspection report and, in the absence of non-conformities, the issuance of technical advice to subsidize the issuance of the environmental license. Thus, there is potential to drastically reduce subjectivity, rework, costs and time, and increase quality and standardization in the environmental licensing process, contributing to improve environmental quality and control.

Keywords: *environmental licensing; prevention; environmental control; pollution; technical analysis; environmental quality.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação de metodologias de gerenciamento de projetos considerando o grau de especificidade.....	62
Figura 2. Informações necessárias para o desenvolvimento de metodologia para otimização da análise técnica no licenciamento ambiental.....	67
Figura 3. Fluxograma de um macroprocesso genérico com três etapas.....	71
Figura 4. Exemplo de decomposição hierárquica de processo.....	73
Figura 5. Estrutura preliminar do Diagrama de Fontes de Poluição.....	76
Figura 6. Equipamentos de controle de poluição do ar.....	78
Figura 7. Equipamentos de controle de poluição das águas.....	79
Figura 8. Exemplo de Diagrama de Fontes de Poluição destacando uma fonte específica.....	81
Figura 9. Representação esquemática do processo de produção de vidro por flutuação.....	83
Figura 10. Mapa com a localização de plantas de fabricação de vidro por flutuação (float glass).....	84
Figura 11. Macroprocesso de fabricação de vidro plano.....	85
Figura 12. Composição soda-cal típica para fabricação de vidro plano.....	89
Figura 13. Diagrama geral das instalações de preparo de lote de matérias-primas.....	89
Figura 14. Imagem do interior de um forno de fusão de vidro em operação.....	90
Figura 15. Forno contínuo regenerativo de porta lateral.....	91
Figura 16. Representação do banho de flutuação.....	93
Figura 17. Representação do processo de deposição química a vapor.....	94
Figura 18. Forno de recozimento.....	94
Figura 19. Estrutura preliminar do Diagrama de Fontes de Poluição para a fabricação de vidro plano.....	96
Figura 20. Fluxograma de Inspeção Ambiental para o processo de fabricação de vidro plano.....	118
Figura 21. Tela interativa com macroprocesso, processos e fontes de poluição ambiental consolidadas.....	120
Figura 22. Tela com exemplo de ficha resumo de fonte de poluição (Fonte 1.2.2 Forno regenerativo).....	121
Figura 23. Tela para registro de dados para avaliação da situação de conformidade das fontes de poluição ambiental.....	122
Figura 24. Tela para registro das medidas de controle (secundárias) de poluição do ar.....	123
Figura 25. Tela para registro das medidas de controle de poluição das águas (parte 1/2).....	124
Figura 26. Tela para registro das medidas de controle de poluição das águas (parte 2/2).....	125
Figura 27. Tela para registro de dados referentes à gestão de resíduos.....	126
Figura 28. Imagem aérea de uma fábrica de cimento Portland.....	135
Figura 29. Produção de cimento pelo processo via seca.....	136
Figura 30. Macroprocesso de fabricação de cimento Portland.....	137
Figura 31. Unidades de coprocessamento no Brasil em 2017.....	144
Figura 32. Representação de forno rotativo com ciclone pré-aquecedor e coletor de material particulado dos gases.....	147
Figura 33. Representação do gradiente de temperatura e tempos de residência nas zonas do forno de clínquer.....	149
Figura 34. Pontos de alimentação de resíduos no sistema de coprocessamento.....	151
Figura 35. Imagem de ensacadeira pneumática (esq.) e sistema de carregamento a granel (dir.)...	154
Figura 36. Estrutura preliminar do Diagrama de Fontes de Poluição para a fabricação de cimento Portland.....	155
Figura 37. Fluxograma de Inspeção Ambiental para o processo de fabricação de cimento Portland.....	164
Figura 38. Representação esquemática das etapas de produção do aço via siderurgia integrada e semi-integrada.....	171
Figura 39. Diagrama do processo de fabricação de aço.....	172
Figura 40. Diagrama geral de fluxos em uma indústria siderúrgica.....	173
Figura 41. Macroprocesso de fabricação de aço.....	174
Figura 42. Operação de aspersão de pilhas em pátios de matérias-primas.....	177

Figura 43. Operação de limpeza e umectação das vias de acesso	178
Figura 44. Diagrama de blocos do fluxo do processo de fabricação de cal	180
Figura 45. Coqueria com caldeira para recuperação de calor	183
Figura 46. Forno Jewell-Thompson e coqueria com recuperação de calor.....	184
Figura 47. Representação esquemática de um forno de coqueificação com recuperação de coprodutos.....	186
Figura 48. Visualização em corte de um forno de coqueificação	187
Figura 49. Bateria de fornos de uma coqueria, com coque incandescente recém-descarregado (esq.) e torre de apagamento úmido de coque (dir.).....	187
Figura 50. Diagrama esquemático com os fluxos de processos em uma unidade carboquímica.....	189
Figura 51. Diagrama de blocos típico de uma planta carboquímica para limpeza de gás de coqueria e recuperação de coprodutos.....	193
Figura 52. Máquina de sinterização.	195
Figura 53. Representação esquemática de uma sinterização	196
Figura 54. Representação esquemática do alto forno e de suas instalações auxiliares.	197
Figura 55. Vista geral de dois altos fornos, com três regeneradores cada, com as respectivas chaminés para os gases de combustão provenientes dos regeneradores.	198
Figura 56. Imagem da casa de corrida do alto forno.	199
Figura 57. Condições operacionais típicas em alto forno de grande produtividade	200
Figura 58. Representação esquemática do processo de pré-tratamento de ferro gusa (metal quente).	201
Figura 59. Representação esquemática de um conversor LD tipo BOF.	205
Figura 60. Carregamento de ferro gusa no conversor LD, com auxílio de pontes rolantes.	206
Figura 61. Representação esquemática da operação de um conversor LD	207
Figura 62. Representação de instalações típicas no refino secundário	210
Figura 63. Representação da solidificação e segregação no processo de lingotamento contínuo do aço.....	211
Figura 64. Representação esquemática de uma unidade de lingotamento contínuo.....	212
Figura 65. Máquina de lingotamento contínuo em operação.....	212
Figura 66. Representação esquemática de linhas e produtos de laminação.	213
Figura 67. Estrutura preliminar do Diagrama de Fontes de Poluição para a fabricação de aço.	225

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação de desafios e propostas para o Licenciamento Ambiental.	45
Tabela 2. Exemplos de processos físicos.	74
Tabela 3. Exemplos de conversões químicas.	75
Tabela 4. Resumo dos principais processos de fabricação de vidro plano por flutuação.	85
Tabela 5. Materiais utilizados no setor de vidro plano.	88
Tabela 6. Parâmetros que podem ser medidos continuamente e os métodos sugeridos.	111
Tabela 7. Parâmetros que podem ser medidos de forma descontínua e os métodos sugeridos.	111
Tabela 8. Tipos de Cimento Portland.	133
Tabela 9. Resumo dos principais processos de fabricação de cimento Portland.	137
Tabela 10. Resumo dos principais processos de fabricação de aço.	174
Tabela 11. Comparação entre GAF e GCO quanto a composição e poder calorífico.	202
Tabela 12. Uso de água para várias unidades de operação em siderurgia.	221
Tabela 13. Perdas por evaporação e geração de efluentes para várias operações siderúrgicas.	223

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABEMA	Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente
ABM	Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração
AFR	<i>Alternative fuels and raw materials</i>
AISI	American Iron and Steel Institute
APA	Área de Proteção Ambiental
AWMA	<i>Air and Waste Management Association</i>
BAT	<i>Best Available Techniques</i>
BPM	<i>Business Process Management</i>
BPMN	<i>Business Process Modeling Notation</i>
CEMBUREAU	<i>The European Cement Association</i>
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNJ	Conselho Nacional de Justiça
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro
CRFB	Constituição da República Federativa do Brasil
DFP	Diagrama de Fontes de Poluição
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EIPPCB	<i>European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau</i>
ETE	Estação de tratamento de efluentes
FCP	Fundação Cultural Palmares
FEA	Forno elétrico a arco
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GAF	Gás de alto forno
GCO	Gás de Coqueria
GLD	Gás de aciaria (conversor LD)
IABR	Instituto Aço Brasil
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LAC	Licença ambiental por adesão e compromisso
LAU	Licença ambiental única
LI	Licença de instalação
LO	Licença de operação
LOC	Licença de operação corretiva
LP	Licença prévia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MTD	Melhores técnicas disponíveis
PEC	Proposta de Emenda à Constituição

PL	Projeto de Lei
PMI	Project Management Institute
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
POP	Poluente orgânico persistente
PSD	<i>Pollution Sources Diagram</i>
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SLAM	Sistema de Licenciamento Ambiental
SLAP	Sistema de Licenciamento de Atividade Poluidoras
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
UE	União Europeia
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
USS	<i>United States Steel</i>
WCA	<i>World Cement Association</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	O tema e o problema.....	13
1.2	Objetivos.....	17
1.3	Delimitação do estudo.....	17
1.4	Relevância do estudo.....	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	22
2.1	O homem e a sua relação com o ambiente	23
2.2	Licenciamento Ambiental: evolução e desafios	25
2.3	Padrão, Método e Metodologia	57
2.4	Aspectos, impactos e controles ambientais	63
3	METODOLOGIA	66
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4.1	Resultados.....	70
4.1.1	Metodologia para otimização da análise técnica no licenciamento ambiental.....	70
4.1.2	Estudo de Caso 1: Aplicação da Metodologia ao processo de fabricação de vidro	83
4.1.3	Estudo de Caso 2: Fabricação de cimento	132
4.1.4	Estudo de Caso 3: Fabricação de aço	170
4.2	Discussão.....	231
5	CONCLUSÕES.....	234
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	238
	APÊNDICE A – Artigo: Technical analysis methodology for the optimization of environmental licensing. .	253
	APÊNDICE B – Artigo: Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Cement Manufacturing.	266
	APÊNDICE C – Artigo: Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Glass Manufacturing.....	274

1 INTRODUÇÃO

“Eu também quero a volta à natureza. Mas essa volta não significa ir para trás, e sim para a frente.”

Friedrich Nietzsche

1.1 O tema e o problema

A exigência crescente da sociedade pela oferta de melhores serviços públicos, com mais zelo pelos recursos provenientes dos pagadores de pesados impostos, condiciona a administração pública, em todas as suas áreas de atuação, a entregar mais resultados com recursos cada vez mais escassos e disputados (DIMAGGIO e POWELL, 1983); (HOOD, 1991); (LARBI, 1999); (HOOD, 2001); (DRECHSLER, 2005); (ČIARNIENĖ e VIENAŽINDIENĖ, 2007); (ANDRADE, 2012); (PALUDO, 2013).

Na pasta ambiental não é diferente e, dentre os diversos temas que desafiam os governos, o licenciamento ambiental se destaca, em meio a críticas e defesas, como um dos assuntos mais sensíveis na busca pela conciliação entre o desenvolvimento social e econômico e a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico.

Visando contribuir com o debate e a busca por soluções, a presente tese contempla o tema licenciamento ambiental, com ênfase na subjetividade da análise técnica realizada para subsidiar a tomada de decisão pelos órgãos ambientais, que compreende o problema objeto de pesquisa.

O licenciamento ambiental é um instrumento de natureza preventiva criado pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), aprovada por meio da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, ao qual estão submetidos estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental durante a sua construção, instalação, ampliação e funcionamento (BRASIL, 1981).

Por meio do licenciamento ambiental busca-se ponderar os valores em jogo, com o balanceamento de valores complexos e conflitantes (OLIVEIRA, 2014, p. 146) e a harmonização de interesses em conflito (DANTAS, 2015, p. 51), essenciais para a realização do juízo de viabilidade ambiental. O licenciamento figura como o instrumento mais litigioso da PNMA e sofre uma pressão crescente de diferentes setores da sociedade. Os problemas são enfrentados sem uma sistematização da

matéria, sendo necessário delimitar os horizontes das questões que são recorrentes durante o processo decisório ambiental (BIM, 2016, p. 3).

No contexto geral, somam-se críticas em relação à significativa morosidade dos órgãos ambientais para deferir ou indeferir os requerimentos realizados, ao excesso de burocracia, a baixa integração de órgãos públicos que solicitam e analisam os mesmos documentos, à ausência ou inobservância de procedimentos, à falta de clareza na definição de regras, ao elevado retrabalho e à alta insegurança jurídica.

Dentre os principais desafios encontrados, a subjetividade e a imprecisão se destacam entre os óbices que mais fragilizam o licenciamento na atualidade, uma vez que prolonga desnecessariamente os prazos e abre espaço para a politização do processo, uma vez que permitem interpretações variadas e não raro opostas. A adoção de procedimentos de licenciamento adaptados às características dos empreendimentos consiste em um dos pontos-chave para desburocratizar o processo, na medida em que a revisão das tipologias e a definição de parâmetros para a exigibilidade do licenciamento e adaptação dos procedimentos fornecerão o embasamento para o analista avaliar os impactos seguindo roteiro previamente definido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENTIDADES ESTADUAIS DE MEIO AMBIENTE, 2013a, p. 24-25).

Embora exista uma vasta literatura sobre o tema licenciamento ambiental, identificou-se uma lacuna metodológica quando considerada a análise técnica realizada pela administração pública brasileira. A ausência de metodologia consolidada para realização de análise técnica pelos órgãos ambientais, alinhada com as melhores práticas adotadas internacionalmente, pode limitar ou mesmo impedir que os serviços sejam prestados com a excelência devida ao cliente-cidadão. Tal condição merece especial atenção, principalmente, em um contexto de avanço da descentralização do licenciamento ambiental, em que muitos órgãos ambientais municipais, sem histórico de atuação e muitas vezes sem os recursos necessários, passam a operar o licenciamento ambiental de impacto local.

O tema é controverso e a busca por consenso em torno de um procedimento geral se prolonga desde 2004 no Congresso Nacional. Neste período, 20 Projetos de Lei (PL) foram apresentados. Resultado de um esforço de consolidação, prevaleceu a tramitação do PL nº 3729/2004, que apresenta como ementa a instituição de uma Lei Geral de Licenciamento Ambiental, ao qual os demais processos foram apensados. A última tramitação registrada data de 29/08/2017 (BRASIL, 2017a).

Embora sejam notórios alguns avanços propostos pelo PL, como, por exemplo, a previsão legal de procedimentos simplificados e de prazos para a autoridade licenciadora e para os demais órgãos que atuam no processo e medidas de incentivo para o empreendedor que adotar novas tecnologias e programas voluntários de gestão ambiental, o assunto ainda é cercado de muitas controvérsias. Outrossim, o PL nº 3729/2004 não aborda diretamente, pela natureza geral que lhe é característica, procedimentos específicos para otimizar a análise técnica realizada pelos órgãos ambientais.

Um dos consensos sobre o tema parece ser sobre a necessidade de mudança. Contudo, antes de se iniciar qualquer processo de mudança, deve-se entender sobre quais bases os órgãos ambientais estão estruturados, quais pilares precisam ser reformados ou substituídos e quais devem permanecer, sustentando as conquistas já alcançadas e fornecendo as condições necessárias para se atender às demandas que a sociedade apresenta, na quantidade, qualidade e tempo esperados.

A exigência crescente dos cidadãos por serviços públicos de maior qualidade reforça, cada vez mais, a importância da adoção de boas práticas de gestão no licenciamento ambiental, nos níveis federal, estadual e municipal.

Ao mesmo tempo em que as demandas de uma sociedade ambientalmente mais consciente exigem maior celeridade e qualidade nos serviços prestados, a administração pública é condicionada a realizar mais resultados com menos recursos, em temas ambientais cada vez mais variados e complexos, que passam invariavelmente pela busca da compatibilização entre o desenvolvimento socioeconômico e a preservação ambiental.

As práticas de gestão visando a um melhor gerenciamento de relacionamento com clientes, e não apenas o simples atendimento ao cliente, que no caso da gestão pública são os cidadãos, devem estar orientadas ao desenvolvimento de três dimensões básicas: pessoas, processos e tecnologias (CHEN e POPOVICH, 2003).

A realidade da administração pública, em geral, apresenta um cenário onde o contingente de servidores é insuficiente para atender às demandas existentes, e não é incomum encontrar funcionários superalocados. A situação é agravada por salários bastante inferiores aos praticados pelo setor privado, o que contribui para um quadro de volatilidade, descontinuidade e vulnerabilidade. Deve-se considerar que a dimensão relacionada a pessoas não é constituída apenas por uma natureza quantitativa, mas também por um componente qualitativo, o que demanda ações

constantes de treinamento e capacitação institucional e o desenvolvimento de capacidades, habilidades e competências.

Analisando-se a dimensão de processos, verifica-se que há muito que se desenvolver no estabelecimento de normas e procedimentos, mas que esses isoladamente não representam mudanças efetivas.

A dimensão da tecnologia, por sua vez, apresenta-se promissora, sobretudo com os rápidos avanços trazidos na Era da Informação, mas pouco agrega em valor quando não amparada com o desenvolvimento das outras dimensões e quando compreende apenas a mecanização da burocracia ao invés da informatização de processos de trabalho otimizados.

Diante desse quadro, o desafio que desponta é como aumentar a qualidade dos serviços prestados e atender a demandas cada vez mais urgentes e complexas se o controle sobre a quantidade de servidores públicos está, em geral, fora do gerenciamento dos órgãos ambientais e se há uma forte tendência de redução de realização de concursos públicos e, conseqüentemente, de não reposição de servidores que deixam a administração.

A solução aponta para a melhoria qualitativa do quadro de pessoal e pelo desenvolvimento de processos e da tecnologia. Isto é, alterando-se a forma de se trabalhar e as ferramentas que suportam as atividades e processos é possível entregar mais e melhores resultados com uma equipe de mesmo porte, e talvez, a partir da entrega de melhores resultados e com o fortalecimento institucional, obter recursos apropriados às necessidades corporativas.

Em conformidade com esse entendimento, a presente tese apresenta como desafio a elaboração de metodologia para otimização da análise técnica no licenciamento ambiental. Pretende-se, contribuir para a melhoria da qualidade dos serviços prestados pelos órgãos ambientais, por meio de uma solução com potencial de constituir relevante base para a capacitação institucional, e também para o desenvolvimento de processos corporativos e de ferramentas tecnológicas para a obtenção de resultados mais efetivos no âmbito da gestão ambiental pública.

Uma vez delimitado o problema objeto de pesquisa como sendo a subjetividade da análise técnica no licenciamento ambiental, o próximo passo consiste em decompor o problema e analisar suas partes constituintes.

A decomposição do problema revela que há três componentes, cujo conhecimento é imprescindível para a realização de uma análise completa: processo

produtivo, controles ambientais e legislação. Embora tais informações estejam disponíveis para pesquisa, as mesmas encontram-se esparsas e não integradas.

A partir dessa análise preliminar, em que foi percebida uma lacuna metodológica para a sistematização e realização da análise técnica no licenciamento ambiental de forma coordenada, padronizada e integrada, apresenta-se a seguinte pergunta de pesquisa: “É possível desenvolver uma metodologia para otimizar a análise técnica no licenciamento ambiental?”.

1.2 Objetivos

O objetivo geral da presente tese é desenvolver metodologia para otimização da análise técnica no licenciamento ambiental, um tema de variáveis complexas e dinâmicas.

Visando alcançar o objetivo geral, faz-se necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Realizar pesquisa bibliográfica considerando o tema e o problema de pesquisa;
- Elaborar metodologia orientada ao controle de fontes de poluição;
- Aplicar a metodologia aos processos produtivos selecionados, indicando sua descrição, entradas e saídas, bem como as medidas de prevenção e controle ambiental e legislação relacionadas;
- Elaborar fluxos de trabalho considerando as dependências identificadas;
- Consolidar os resultados utilizando solução BPM (*Business Process Management*).

1.3 Delimitação do estudo

Uma vez definidos os elementos sobre os quais a metodologia deve ser desenvolvida, quais sejam, processos produtivos, controles ambientais e legislação e, considerando a extensão e a complexidade do tema e do problema de pesquisa, o estudo foi delimitado considerando a aplicação da metodologia a três tipos de atividades de fabricação: vidro plano, cimento Portland e aço, materiais essenciais para o desenvolvimento social e econômico e com alta demanda global.

A escolha das tipologias foi realizada de forma a representar uma evolução gradativa na quantidade e complexidade dos aspectos, impactos e controles ambientais a serem considerados para se assegurar a conformidade ambiental. Admitiu-se, portanto, a aplicação a três processos representativos como suficiente para demonstrar a aplicabilidade e reprodutibilidade da metodologia proposta.

Embora tenham sido consideradas as melhores práticas internacionalmente reconhecidas, a metodologia que se pretende obter observou as características e particularidades do Brasil, com ênfase no Estado do Rio de Janeiro, sem prejuízo da possibilidade de aplicação da metodologia por outros entes da federação ou em outros países, devendo-se, no entanto, se realizar as customizações necessárias. Em relação à legislação, portanto, foi considerada como abrangência a legislação federal e, quando mais restritiva, a legislação do Estado do Rio de Janeiro, incluindo os regulamentos e normas técnicas aplicáveis.

É importante destacar também que, considerando a impossibilidade de se reunir em um único estudo todas as particularidades inerentes às diversas plantas industriais existentes e visando assegurar sua ampla aplicabilidade, a metodologia objeto de estudo foi aplicada em abrangência setorial e não de uma planta específica. Isto é, embora a metodologia possa ser aplicada com facilidade a uma determinada instalação industrial, a abrangência da aplicação neste trabalho se deu em nível de setor produtivo, para os processos de fabricação elencados (vidro plano, cimento Portland e aço), com detalhamento até o nível de processos comuns, prevalecendo as melhores tecnologias disponíveis (MTD). Além disso, considerando a sua relevância, foram abordados apenas os aspectos referentes à operação de tais processos.

Seguindo essas delimitações (abrangência setorial, operação e legislação), não serão abordadas neste trabalho questões locacionais, que deverão ser consideradas quando da aplicação da metodologia a uma planta específica.

Em relação às melhores técnicas disponíveis, o referencial teórico foi delimitado de forma a considerar, seguindo-se os critérios de representatividade e maturidade, além de referências nacionais, as práticas mais recentemente empregadas na União Europeia e nos Estados Unidos da América, com ênfase na adoção de medidas de prevenção (não geração e redução de poluentes) e no uso de equipamentos e sistemas de controle da poluição, observando esta ordem de priorização.

Quando disponíveis na literatura consultada, também foram consideradas além das melhores técnicas disponíveis (em inglês *Best Available Techniques – BAT*), a melhor tecnologia de controle disponível (em inglês *Best Available Control Technology – BACT*), as melhores práticas ambientais (em inglês *Best Environmental Practices – BEP*) e as melhores técnicas disponíveis que não impliquem custos excessivos (em inglês *Best available techniques not entailing excessive costs – BATNEEC*).

É importante observar que as delimitações acima referidas não impedem que a metodologia seja aplicada em uma condição específica (país, estado, município ou unidade industrial), contudo devem ser observadas as adaptações necessárias.

1.4 Relevância do estudo

A Administração Pública brasileira tem sido cada vez mais desafiada a modernizar suas práticas de gestão e a entregar mais e melhores resultados com menos recursos, devido a uma postura mais consciente e exigente da sociedade civil e a uma maior cobrança pelos cidadãos e pelos órgãos de controle por mais transparência, eficiência, eficácia e efetividade.

Neste sentido, a otimização do processo de licenciamento, por meio de metodologia que contribua para redução da subjetividade na análise técnica ambiental, representa importante oportunidade de pesquisa e aplicação.

A falta de objetividade nos processos de licenciamento é notória, seja em virtude de normas imprecisas, diretrizes não adequadas, capacitação técnica insuficiente ou em função de procedimentos que aumentam o grau de discricionariedade de analistas e gestores, levando invariavelmente a constantes solicitações de informações complementares que retardam os processos e aumentam demasiada e desnecessariamente os prazos. Também contribui para esse cenário a baixa qualidade técnica com que alguns projetos são submetidos pelos requerentes para análise pelo órgão ambiental.

Outro impacto relevante é o aumento da insegurança jurídica, decorrente das variadas interpretações possíveis, abrindo espaço para a politização do processo, a depender das convicções ideológicas do analista, e para o aumento da aversão ao risco por parte dos técnicos que podem ser punidos criminalmente pela Lei nº 9.605/98, Lei de Crimes Ambientais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENTIDADES ESTADUAIS DE MEIO AMBIENTE, 2013a, p. 24-25).

Além da insegurança jurídica, criam-se condições favoráveis para a judicialização dos processos de licenciamento, fazendo com que o assunto migre da esfera administrativa e sobrecarregue ainda mais os Tribunais Regionais Federais, o Supremo Tribunal de Justiça e o Supremo Tribunal Federal.

A melhoria das políticas governamentais, o que inclui a diminuição de barreiras processuais, se destacou como a principal recomendação de especialistas para a melhoria do ambiente econômico e das condições para se empreender no Brasil (GLOBAL ENTREPRENEURSHIP MONITOR, 2017, p. 95).

O relatório *Doing Business*, que classifica as economias de 190 países de acordo com o grau de facilidade de se fazer negócios e indica se o ambiente regulatório é mais ou menos propício para a criação e operação de uma empresa local, revela uma posição preocupante para o Brasil.

Segundo dados consolidados até junho de 2016 e apresentados na edição de 2017 do relatório, na classificação relativa à facilidade para fazer negócios, o país ocupa a 123ª posição, atrás de países como Egito, Irã, Argentina, Uganda, Suazilândia, Sri Lanka, Nepal, Paraguai e Honduras. Os cinco primeiros colocados no ranking são: Nova Zelândia (1ª), Cingapura (2ª), Dinamarca (3ª), Hong Kong (4ª) e República da Coreia (5ª). Quando comparado com os outros países que integram os BRICS, os resultados são: Rússia (40ª), África do Sul (74ª), China (78ª) e Índia (130ª).

Analisando países com reconhecida tradição na gestão ambiental, observaram-se os seguintes resultados para o mesmo indicador: Reino Unido (7ª), Estados Unidos da América (8ª), Alemanha (17ª), Canadá (22ª), França (29ª) e Japão (34ª). Esse resultado mostra que é possível, mesmo em países com legislação ambiental mais rigorosa, obter melhores resultados relacionados ao empreendedorismo.

Quando avaliado em relação ao indicador abertura de empresas, que considera procedimentos, tempo, custo e capital mínimo pago para iniciar uma companhia de responsabilidade limitada, o resultado é ainda pior: 175ª posição. Esse resultado coloca o país no grupo dos 16 piores países para se abrir uma empresa, juntamente com Venezuela, Haiti, Eritreia, Suriname, Somália, Chade, Camboja e Etiópia e atrás de exemplos como Cisjordânia e Faixa de Gaza, Iraque, Serra Leoa, Líbia, Burkina Faso, Timor Leste, Angola, Líbano e Síria.

Os cinco primeiros colocados considerando esse indicador são: Nova Zelândia (1ª), Canadá (2ª), Hong Kong (3ª), Macedônia (4ª) e Azerbaijão (5ª). Comparando o Brasil com os outros países que integram os BRICS, os resultados são: Rússia (26ª),

China (127^a), África do Sul (131^a) e Índia (155^a). O Brasil ocupa posição similar no ranking de obtenção de alvarás de construção (172^a posição). (WORLD BANK, 2017, p. 7, 195).

Diante do cenário mostrado pelas estatísticas acima, a simplificação e desburocratização do licenciamento ambiental, que representa alto impacto no processo de regularização e abertura de empresas, se mostra urgente e inadiável.

Neste sentido, a relevância deste estudo está associada à contribuição potencial que o desenvolvimento de uma metodologia para otimização da análise técnica no licenciamento ambiental apresenta para aproximar a gestão pública das melhores práticas internacionalmente adotadas, observadas as customizações necessárias, de forma a contribuir para oferta de melhores serviços ao cliente-cidadão e para a promoção do desenvolvimento sustentável.

Finalmente, faz-se importante registrar e ressaltar que as opiniões aqui apresentadas e defendidas são fruto de observações pessoais e não, necessariamente, aquelas do Instituto Estadual do Ambiente (SEA/INEA), ao qual o autor está vinculado profissionalmente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

"A terra ensina-nos mais acerca de nós próprios do que todos os livros. Porque ela nos resiste."

Antoine de Saint-Exupéry

Uma vez definidos o tema e o problema de pesquisa, procedeu-se à realização de pesquisa bibliográfica, com a finalidade de subsidiar a pesquisa qualitativa com dados secundários obtidos em livros, artigos, revistas científicas, teses, dissertações e demais publicações especializadas.

Inicialmente foi abordada a relação entre o homem e o ambiente, seus momentos mais críticos e um panorama da situação atual. Em seguida, realizou-se uma revisão sobre o tema da tese, destacando a evolução e os desafios do licenciamento ambiental, tendo sido realizada também a sua conexão com o problema de pesquisa, caracterizado pela subjetividade na análise técnica. Adicionalmente, foram identificados princípios e características no âmbito da administração pública ambiental brasileira para identificar os principais aspectos e particularidades que pudessem influenciar na busca por soluções.

Também foram apresentados os conceitos de padrão, método e metodologia, suas características e aplicações, tendo em vista que a obtenção de metodologia de análise técnica constitui o objetivo principal deste trabalho.

Posteriormente, adotando literatura especializada como base, foram revistos os processos produtivos das atividades contempladas da delimitação do estudo, a saber fabricação de vidro, fabricação de cimento Portland e fabricação de aço, bem como foram identificados os principais controles ambientais e legislação relacionados, de forma a subsidiar a aplicação da metodologia, conforme resultados apresentados no capítulo 4.

O conhecimento sobre processos produtivos, controles ambientais e legislação apresenta-se como imprescindível para subsidiar a elaboração e aplicação de metodologia de análise técnica adaptada à realidade dos órgãos ambientais, propiciando a obtenção de melhores resultados no licenciamento, acompanhamento pós-licença e fiscalização ambiental. A pesquisa bibliográfica buscou, desta maneira, reunir dados e informações pertinentes ao tema definido, de forma que na interseção desses conjuntos de informação fosse possível caracterizar os elementos necessários para subsidiar a resposta à pergunta de pesquisa.

2.1 O homem e a sua relação com o ambiente

Quando os antepassados do homem moderno vagavam como nômades, vivendo da caça e da coleta de frutos e raízes, permitiam com o seu deslocamento, necessário após os recursos em uma área se tornarem escassos, que a natureza se regenerasse sem grandes alterações. O homem estava integrado na natureza em um equilíbrio ambiental perfeito. O advento da agricultura permitiu a fixação em sítios e, aos poucos, a vida nômade deu lugar ao surgimento das primeiras comunidades, levando muitas vezes à exaustão dos recursos naturais próximos às áreas com aglomerado humano, sendo esse o primeiro momento marcante na relação do homem com o meio ambiente (TRENNEPOHL, 2010, p. 1-2).

Na medida em que as cidades se desenvolviam, os impactos sobre o ambiente também se concentravam, e o avanço em diversos campos da ciência permitiu que uma população crescente realizasse cada vez mais pressão por recursos e por um ambiente capaz de receber os resíduos gerados.

A transformação dos recursos naturais em produtos úteis para a vida em sociedade permitiu o desenvolvimento das civilizações e, na maior parte do tempo, o meio ambiente foi capaz de atender a demanda desses recursos e absorver os poluentes gerados devido a imperfeição e ineficiência dos processos de produção empregados.

No entanto, especialmente desde a revolução industrial, no século XVIII, a crescente quantidade de materiais extraídos da natureza e o aumento significativo de poluentes liberados para o ambiente levaram a um cenário com impactos ambientais significativos, extrapolando as fronteiras locais e atingindo dimensões regionais e globais. A revolução industrial apresenta-se, portanto, como um segundo momento marcante na relação entre o homem e o ambiente.

Desde então, milhões de substâncias químicas foram sintetizadas e materiais que sequer existiam na natureza acabam lançados no ar, águas e solo em um ritmo acelerado ditado pelas crescentes demandas por bens e serviços, ameaçando a capacidade de suporte do próprio planeta, que é a quantidade de seres vivos que ele pode suportar sem se degradar (BARBIERI, 2011, p. 4-5).

Na segunda metade do século XX, com a piora dos episódios de poluição e ocorrência de graves acidentes industriais, foram criadas agências ambientais e publicadas políticas ambientais em vários países. O conceito de desenvolvimento

sustentável foi cunhado pela norueguesa Gro Brundtland como o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender às necessidades das futuras gerações (UNITED NATIONS, 1987).

As atividades econômicas, essenciais para o desenvolvimento das sociedades, passaram a estar sujeitas às regras de controle da poluição ambiental e à concessão de licenças e licenças ambientais, e até empréstimos por parte de algumas instituições internacionais passaram a depender da avaliação prévia dos impactos ambientais causados e as medidas de mitigação e compensação que seriam adotadas (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2004); (WORLD BANK, 2012); (ARTS, CALDWELL e MORRISON-SAUNDERS, 2001); (CARVALHO, MIMOSO, *et al.*, 2014); (MARSHALL, ARTS e MORRISON-SAUNDERS, 2005).

Desde a imposição de tais procedimentos, as agências ambientais enfrentam o desafio de atender às crescentes e complexas demandas da sociedade, gerir conflitos e conciliar o desenvolvimento econômico e social com a preservação do meio ambiente.

A sociedade humana interage dialeticamente com a natureza, apropriando-se de recursos que supram suas necessidades. Deve-se refletir, no entanto, sobre as escolhas sociais referentes ao relacionamento sociedade-natureza, pois elas definem o caminho evolutivo que pode resultar no sucesso ou colapso das civilizações (ANDRADE, 2008, p. 105-106).

Segundo a Organização das Nações Unidas a população mundial foi estimada em 2015 em 7,38 bilhões de pessoas, o que representa quase três vezes a população existente em 1950. Deste total, 1,25 bilhões vivem em regiões mais desenvolvidas e 6,13 bilhões em regiões menos desenvolvidas. A expectativa é de que a marca de 10 bilhões seja ultrapassada em 2055 (UNITED NATIONS, 2017).

Tudo indica que a mudança necessária na relação entre sociedade e natureza para que o desenvolvimento humano se torne sustentável é da mesma magnitude das revoluções agrícola e industrial, sendo necessárias profundas transformações nos padrões de produção e consumo. A substancial diferença é que os novos desafios são principalmente globais, como podem ser citados como exemplos as mudanças do clima, a perda da biodiversidade e a multiplicação de zonas oceânicas mortas. Desta forma, qualquer caminho para um mundo sustentável só poderá ser efetivo com um amplo número de ações globais (VEIGA, 2013, p. 10-11).

2.2 Licenciamento Ambiental: evolução e desafios

2.2.1 Evolução do licenciamento ambiental no Brasil e no Estado do Rio de Janeiro

O licenciamento ambiental é um dos instrumentos criados pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), instituída por meio da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. A PNMA apresenta como objetivo a preservação, a melhoria e a recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (BRASIL, 1981), estabelecendo a necessidade de atendimento de importantes princípios, quais sejam:

- ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;
- racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;
- planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;
- proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;
- controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;
- incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;
- acompanhamento do estado da qualidade ambiental;
- recuperação de áreas degradadas;
- proteção de áreas ameaçadas de degradação;
- educação ambiental a todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente.

A exigência de prévio licenciamento ambiental para construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades foi estabelecido em seu art. 10, que após duas modificações, passou a ter a seguinte redação:

Art. 10. A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental (BRASIL, 1981).

A relação de atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos ambientais foi incluída na PNMA, por meio da Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000 (Anexo VIII). Essa lista abrange os processos produtivos elencados no presente estudo nas categorias Indústria de Produtos Minerais Não Metálicos (produção de vidro e de cimento) e Indústria Metalúrgica (fabricação de aço e de produtos siderúrgicos) (BRASIL, 2000).

A Política Nacional do Meio Ambiente, e alterações posteriores, apresentaram também, definições importantes como:

Art. 3º - Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:

I - meio ambiente, o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas;

II - degradação da qualidade ambiental, a alteração adversa das características do meio ambiente;

III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;

c) afetem desfavoravelmente a biota;

d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;

e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

IV - poluidor, a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental;

V - recursos ambientais: a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora (BRASIL, 1981).

Alguns anos após a publicação da PNMA, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), também criado por força dessa Lei como o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), editou a Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986, que estabeleceu as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental, condicionando também uma série de empreendimentos à elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (CONAMA, 1986). O termo impacto ambiental foi definido como:

Artigo 1º - Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam (CONAMA, 1986):

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.

Um ano mais tarde, o Conama publicou a Resolução nº 9, de 3 de dezembro de 1987, dispondo sobre a realização de Audiências Públicas no processo de licenciamento ambiental (CONAMA, 1987).

Com a promulgação da Constituição da República Federativa do Brasil (CRFB), de 5 de outubro de 1988, temas ambientais de grande relevância assumiram especial destaque no art. 225 (BRASIL, 1988).

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

I - preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas;

II - preservar a diversidade e a integridade do patrimônio genético do País e fiscalizar as entidades dedicadas à pesquisa e manipulação de material genético;

III - definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção;

IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;

VI - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente;

VII - proteger a fauna e a flora, vedadas, na forma da lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais a crueldade.

§ 2º - Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.

§ 3º - As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.

§ 4º - A Floresta Amazônica brasileira, a Mata Atlântica, a Serra do Mar, o Pantanal Mato-Grossense e a Zona Costeira são patrimônio nacional, e sua utilização far-se-á, na forma da lei, dentro de condições que assegurem a preservação do meio ambiente, inclusive quanto ao uso dos recursos naturais.

§ 5º - São indisponíveis as terras devolutas ou arrecadadas pelos Estados, por ações discriminatórias, necessárias à proteção dos ecossistemas naturais.

§ 6º - As usinas que operem com reator nuclear deverão ter sua localização definida em lei federal, sem o que não poderão ser instaladas.

§ 7º Para fins do disposto na parte final do inciso VII do § 1º deste artigo, não se consideram cruéis as práticas desportivas que utilizem animais, desde que sejam manifestações culturais, conforme o § 1º do art. 215 desta Constituição Federal, registradas como bem de natureza imaterial integrante do patrimônio cultural brasileiro, devendo ser regulamentadas por lei específica que assegure o bem-estar dos animais envolvidos. (Incluído pela Emenda Constitucional nº 96, de 2017).

Nota-se, portanto que a Assembleia Nacional Constituinte cravou no texto constitucional a definição de desenvolvimento sustentável cunhada no Relatório Brundtland, em documento intitulado Nosso Futuro Comum que estabeleceu a definição mais amplamente difundida sobre desenvolvimento sustentável como aquele que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades (UNITED NATIONS, 1987).

A definição do licenciamento ambiental foi realizada com a publicação da Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997, em seu art. 1º (CONAMA, 1997).

Art. 1º - Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:
I - Licenciamento Ambiental: procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso. [...] (CONAMA, 1997).

Embora avanços importantes tenham sido conquistados com a publicação da Resolução CONAMA nº 237/97, a falta de uma definição clara quanto à competência para o licenciamento ambiental representava uma limitação desse importante instrumento, gerando conflitos e insegurança jurídica.

Apenas 14 anos depois da publicação dessa Resolução, e 23 anos após a promulgação da Constituição Federal, que estabeleceu em seu art. 23 a necessidade de edição de Leis Complementares para fixação de normas para a cooperação entre a União e os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, houve um avanço significativo para resolução de tal impasse, com a publicação da Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011.

Para Trennepohl (2010, p. 18), essa injustificável omissão legislativa contribuiu para que o licenciamento ambiental se caracterizasse como um dos maiores pontos de discordância e polêmica, ainda que, ao mesmo tempo, representasse um dos mais importantes instrumentos para a garantia da qualidade de vida das presentes e futuras gerações.

A Lei Complementar nº 140/11 fixou normas nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer

de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora, além de estabelecer alterações na redação dos art. 10 e 11 da PNMA (BRASIL, 2011).

A Lei Complementar nº 140/11 estabeleceu como objetivos fundamentais da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:

- proteger, defender e conservar o meio ambiente ecologicamente equilibrado, promovendo gestão descentralizada, democrática e eficiente;
- garantir o equilíbrio do desenvolvimento socioeconômico com a proteção do meio ambiente, observando a dignidade da pessoa humana, a erradicação da pobreza e a redução das desigualdades sociais e regionais;
- harmonizar as políticas e ações administrativas para evitar a sobreposição de atuação entre os entes federativos, de forma a evitar conflitos de atribuições e garantir uma atuação administrativa eficiente; e
- garantir a uniformidade da política ambiental para todo o País, respeitadas as peculiaridades regionais e locais.

A mesma Lei estabeleceu também os seguintes instrumentos de cooperação institucional: consórcios públicos; convênios, acordos de cooperação técnica e outros instrumentos similares com órgãos e entidades do Poder Público; Comissão Tripartite Nacional, Comissões Tripartites Estaduais e Comissão Bipartite do Distrito Federal; fundos públicos e privados e outros instrumentos econômicos; delegação de atribuições de um ente federativo a outro; e delegação da execução de ações administrativas de um ente federativo a outro.

A LC nº 140/11 determinou que as ações de cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios devem ser desenvolvidas de modo a atingir os objetivos previstos e a garantir o desenvolvimento sustentável, harmonizando e integrando todas as políticas governamentais.

A contribuição mais relevante dessa LC está relacionada à definição das ações administrativas de competência da União, dos Estados e dos Municípios.

No âmbito do licenciamento ambiental, constitui ação administrativa de competência da União promover o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades:

- localizados ou desenvolvidos conjuntamente no Brasil e em país limítrofe;

- localizados ou desenvolvidos no mar territorial, na plataforma continental ou na zona econômica exclusiva;
- localizados ou desenvolvidos em terras indígenas;
- localizados ou desenvolvidos em unidades de conservação instituídas pela União, exceto em Áreas de Proteção Ambiental (APAs);
- localizados ou desenvolvidos em 2 (dois) ou mais Estados;
- de caráter militar, excetuando-se do licenciamento ambiental aqueles previstos em legislação específica;
- destinados a pesquisar, lavrar, produzir, beneficiar, transportar, armazenar e dispor material radioativo, em qualquer estágio, ou que utilizem energia nuclear em qualquer de suas formas e aplicações, mediante parecer da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN); ou
- que atendam tipologia estabelecida por ato do Poder Executivo, a partir de proposição da Comissão Tripartite Nacional, assegurada a participação de um membro do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), e considerados os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade ou empreendimento.

A regulamentação do último item da relação acima foi realizada por meio da edição do Decreto nº 8.437, de 22 de abril de 2015, que, sem prejuízo das atividades já previstas na LC nº 140/11, estabeleceu também **como de competência da União o licenciamento ambiental das seguintes tipologias de empreendimentos e atividades (BRASIL, 2015):**

- rodovias federais (implantação; pavimentação e ampliação de capacidade com extensão igual ou superior a duzentos quilômetros; regularização ambiental de rodovias pavimentadas, podendo ser contemplada a autorização para as atividades de manutenção, conservação, recuperação, restauração, ampliação de capacidade e melhoramento; e atividades de manutenção, conservação, recuperação, restauração e melhoramento em rodovias federais regularizadas). Não se aplica nos casos de contornos e acessos rodoviários, anéis viários e travessias urbanas;
- ferrovias federais (implantação; ampliação de capacidade; e regularização ambiental de ferrovias federais). Não se aplica nos casos de implantação e

ampliação de pátios ferroviários, melhoramentos de ferrovias, implantação e ampliação de estruturas de apoio de ferrovias, ramais e contornos ferroviários;

- hidrovias federais (implantação; e ampliação de capacidade cujo somatório dos trechos de intervenções seja igual ou superior a duzentos quilômetros de extensão);
- portos organizados, exceto as instalações portuárias que movimentem carga em volume inferior a 450.000 TEU/ano ou a 15.000.000 ton/ano, onde TEU (Twenty-foot Equivalent Units), em português Unidades Equivalentes a Vinte Pés, que corresponde a unidade utilizada para conversão da capacidade de contêineres de diversos tamanhos ao tipo padrão International Organization for Standardization - ISO de vinte pés;
- terminais de uso privado e instalações portuárias que movimentem carga em volume superior a 450.000 TEU/ano ou a 15.000.000 ton/ano;
- exploração e produção de petróleo, gás natural e outros hidrocarbonetos fluidos nas seguintes hipóteses: a) exploração e avaliação de jazidas, compreendendo as atividades de aquisição sísmica, coleta de dados de fundo (*piston core*), perfuração de poços e teste de longa duração quando realizadas no ambiente marinho e em zona de transição terra-mar (*offshore*); b) produção, compreendendo as atividades de perfuração de poços, implantação de sistemas de produção e escoamento, quando realizada no ambiente marinho e em zona de transição terra-mar (*offshore*); e c) produção, quando realizada a partir de recurso não convencional de petróleo e gás natural (e.g. areias betuminosas, gás e o óleo de folhelho, metano em camadas de carvão, hidratos de metano e os arenitos de baixa permeabilidade), em ambiente marinho e em zona de transição terra-mar (*offshore*) ou terrestre (*onshore*), compreendendo as atividades de perfuração de poços, fraturamento hidráulico e implantação de sistemas de produção e escoamento);
- sistemas de geração e transmissão de energia elétrica: a) usinas hidrelétricas com capacidade instalada igual ou superior a trezentos megawatts; b) usinas termelétricas com capacidade instalada igual ou

superior a trezentos megawatts; e c) usinas eólicas, no caso de empreendimentos e atividades offshore e zona de transição terra-mar.

O decreto citado também estabelece que a competência para o licenciamento será da União quando caracterizadas situações que comprometam a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético, reconhecidas pelo Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE, ou a necessidade de sistemas de transmissão de energia elétrica associados a empreendimentos estratégicos, indicada pelo Conselho Nacional de Política Energética - CNPE.

Ainda segundo a LC nº 140/11, cabe aos Municípios promover o licenciamento ambiental das atividades ou empreendimentos que causem ou possam causar impacto ambiental de âmbito local, conforme tipologia definida pelos respectivos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente, considerados os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade ou localizados em unidades de conservação instituídas pelo Município, exceto em Áreas de Proteção Ambiental (APAs).

Aos Estados cabe promover o licenciamento ambiental de atividades ou empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, ressalvado o disposto nos artigos que estabelecem a competência da União e dos Municípios, configurando, portanto a competência residuária, e promover o licenciamento ambiental de atividades ou empreendimentos localizados ou desenvolvidos em unidades de conservação instituídas pelo Estado, exceto em Áreas de Proteção Ambiental (APAs).

No caso específico das APAs, conforme disposto no art. 12 da LC nº 140/11, o licenciamento ambiental não é conduzido pelo ente federativo instituidor da unidade de conservação e sim pelo ente federativo competente para a realização do licenciamento ambiental segundo os critérios estabelecidos nessa Lei.

Art. 12. Para fins de licenciamento ambiental de atividades ou empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, e para autorização de supressão e manejo de vegetação, o critério do ente federativo instituidor da unidade de conservação não será aplicado às Áreas de Proteção Ambiental (APAs) (BRASIL, 2011).

A Lei Complementar nº 140/11 estabeleceu dispositivos importantes, dentre os quais merecem destaque:

- O licenciamento ambiental deve ser realizado por um único ente federativo;
- Os órgãos licenciadores devem observar os prazos estabelecidos para tramitação dos processos de licenciamento. Neste caso, por ausência de definição em Lei, consideram-se os prazos estabelecidos na Resolução Conama nº 237/97 de 12 meses para o licenciamento de empreendimentos e atividades sujeitos à elaboração de Estudo de Impacto Ambiental e de 6 meses para os demais casos;
- As exigências de complementação oriundas da análise do empreendimento ou atividade devem ser comunicadas pela autoridade licenciadora de uma única vez ao empreendedor, ressalvadas aquelas decorrentes de fatos novos.

Dentre os pontos acima listados, os dois últimos representam considerável desafio para os órgãos ambientais e seu esforço não deve ser subestimado. O atendimento aos prazos exige do órgão ambiental um corpo técnico qualificado em quantidade suficiente para o atendimento das demandas, enquanto que a exigência de emissão de apenas uma única notificação exige que o servidor público que exerce a função de análise apresente um profundo conhecimento da atividade ou empreendimento em análise e uma notável capacidade de coordenar e consolidar todas as ações necessárias em um único ato. Tal dificuldade aumenta quando a análise envolve diferentes setores, que em alguns casos, inclusive, não estão concentrados geograficamente, ou, pior, fazem parte de órgãos diferentes.

Embora seja inegável o avanço trazido pela Lei Complementar nº 140/11 para o aumento da segurança jurídica do licenciamento ambiental, a falta de uma definição clara e única para a expressão impacto ambiental de âmbito local, que caracterizaria a competência originariamente municipal para realização do licenciamento ambiental, pode resultar em um cenário de acentuadas variações entre os Estados da federação. Isto porque essa definição cabe aos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente, que devem considerar também os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade. Na prática, uma tipologia licenciada por um Município em um determinado Estado, pode não o ser em outro, o que de certa forma caracteriza um viés de subjetividade e imprecisão que pode provocar distorções e procedimentos diferenciados para uma atividade ou empreendimento.

Em 2012, visando ao atendimento da Lei Complementar nº 140/2011, o Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro (CONEMA) publicou a Resolução nº 42, em 28 de agosto de 2012, que dispôs sobre as atividades que causam ou possam causar impacto ambiental local e fixou normas gerais de cooperação federativa nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum, definindo as condições que caracterizam o licenciamento de âmbito municipal no Estado do Rio de Janeiro, constituindo, assim, um importante dispositivo para incentivar a descentralização do licenciamento ambiental (CONEMA, 2012).

Art. 1º – Fica definido, para fins desta Resolução, que impacto ambiental de âmbito local é qualquer alteração direta ou indireta das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, que afetem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e/ou a qualidade dos recursos ambientais, dentro dos limites do Município.

Parágrafo único – Não será considerado de âmbito local o impacto ambiental quando:

- I. sua área de influência direta ultrapassar os limites do Município.
- II. atingir ambiente marinho ou unidades de conservação do Estado ou da União, à exceção das Áreas de Proteção Ambiental.
- III. a atividade for listada em âmbito federal ou estadual como sujeita à elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo relatório de impacto ambiental (RIMA) (CONEMA, 2012).

A descentralização do licenciamento ambiental constitui passo fundamental para a efetivação desse importante instrumento, mas um novo desafio se configura, uma vez que a Lei Complementar nº 140/11 estabeleceu condições mínimas para que um ente federativo pudesse exercer as ações administrativas a ele inerentes, sob pena de caracterizar necessidade de atuação supletiva, que consiste na ação do ente da Federação que se substitui ao ente federativo originariamente detentor das atribuições, nas hipóteses definidas na mesma Lei.

Art. 15. Os entes federativos devem atuar em caráter supletivo nas ações administrativas de licenciamento e na autorização ambiental, nas seguintes hipóteses:

- I - inexistindo órgão ambiental capacitado ou conselho de meio ambiente no Estado ou no Distrito Federal, a União deve desempenhar as ações administrativas estaduais ou distritais até a sua criação;
- II - inexistindo órgão ambiental capacitado ou conselho de meio ambiente no Município, o Estado deve desempenhar as ações administrativas municipais até a sua criação; e
- III - inexistindo órgão ambiental capacitado ou conselho de meio ambiente no Estado e no Município, a União deve desempenhar as ações administrativas até a sua criação em um daqueles entes federativos (CONEMA, 2012).

Importante notar que a Lei Complementar nº 140/11 estabeleceu critérios para a atuação subsidiária, que consiste em ação do ente da Federação que visa a auxiliar no desempenho das atribuições decorrentes das competências comuns, quando solicitado pelo ente federativo originariamente detentor das atribuições definidas na mesma Lei. Um exemplo que pode ser citado é o de um Município que nunca exerceu a atividade de licenciamento, mas se encontra capacitado para tal e solicita ao órgão ambiental estadual que ministre cursos de capacitação técnica para seus servidores.

Art. 16. A ação administrativa subsidiária dos entes federativos dar-se-á por meio de apoio técnico, científico, administrativo ou financeiro, sem prejuízo de outras formas de cooperação.

No Estado do Rio de Janeiro, o licenciamento ambiental surgiu com a publicação do Decreto nº 1.633, de 21 de dezembro de 1977 (ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 1977), que regulamentou em parte o Decreto nº 134 de 16 de junho de 1975 (ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 1975), e instituiu o Sistema de Licenciamento de Atividade Poluidoras (SLAP), que vigorou por mais de 30 anos, até ser substituído pelo Sistema de Licenciamento Ambiental (SLAM), em 2009.

Um avanço importante para a agenda pública ambiental fluminense foi dado com a criação do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), por meio da Lei nº 5.101, de 04 de outubro de 2007, submetido a regime autárquico especial e vinculado à Secretaria de Estado do Ambiente, com a função de executar as políticas estaduais do meio ambiente, de recursos hídricos e de recursos florestais adotadas pelos Poderes Executivo e Legislativo do Estado (ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2007).

O INEA foi instalado pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro, em 12 de Janeiro de 2009, através do Decreto nº 41.628, a partir da fusão de três órgãos: Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente (FEEMA), Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA) e Instituto Estadual de Florestas (IEF), unificando, ampliando e fortalecendo, assim, as agendas verde, azul e marrom. O INEA intensificou a sua atuação descentralizada por meio de nove Superintendências Regionais correspondentes às regiões hidrográficas do Estado, integrando assim a gestão ambiental e a de recursos hídricos (ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2009a).

No mesmo ano de sua instalação o INEA inovou com a edição do Sistema de Licenciamento Ambiental (SLAM), por meio de Decreto nº 42.159, de 02 de dezembro de 2009, que aportou ao processo de licenciamento ambiental um conjunto de alterações de cunho estratégico, tático e operacional que possibilitou a modernização

da gestão ambiental do Estado do Rio de Janeiro e o acompanhamento da atuação da Diretoria de Licenciamento Ambiental (DILAM) e das Superintendências Regionais (ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2009b). Com o amadurecimento do SLAM e dos seus dispositivos, iniciou-se um processo de revisão de conceitos e procedimentos, de forma a tornar a interpretação mais clara e objetiva, resultando no Decreto Estadual nº 44.820, de 02 de junho de 2014 (ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2014).

Esse decreto foi alterado por meio do Decreto nº 45.482, de 04 de dezembro de 2015, que estabeleceu diversas medidas de simplificação do licenciamento, como podem ser citados como exemplos: a possibilidade de emissão automática de declaração de inexigibilidade de licenciamento ambiental; fluxo de tramitação simplificado para empreendimentos e atividades de baixo impacto ambiental; procedimento simplificado para renovação de licenças ambientais; e a possibilidade de envio de notificações por meio eletrônico (ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2015).

Desta forma, o órgão ambiental estadual vem adotando medidas com vistas ao restabelecimento da confiança nas informações prestadas pelo requerente, sem prejuízo do rigor quanto à qualidade e à responsabilização pelas informações prestadas.

Este caminho se mostra interessante, pois permite ao órgão ambiental liberar esforço no trabalho cartorial de conferência de documentos e intensificar o trabalho em campo, principalmente, durante o acompanhamento após a emissão da licença para verificação do cumprimento das condições de validade nela estabelecidas, ou para ações de fiscalização de atividades que se encontram em condição irregular.

A própria análise de tempos e movimentos dos processos, sugere que o procedimento de licenciamento deveria ser muito mais simples do que costuma ser, tendo em vista que o prazo máximo para decisão é de 180 dias, com exceção de empreendimentos e atividades sujeitas à elaboração de Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), enquanto as licenças de operação, por exemplo, podem ter vigência de 4 a 10 anos.

Em um horizonte temporal tradicional, com uma licença de operação emitida com o prazo máximo, o tempo para o licenciamento representa 5% do total, sendo os 95% restantes compreendidos na fase de pós-licença. Neste sentido, chama a atenção o fato dos órgãos ambientais brasileiros, em sua grande maioria, dedicarem a quase totalidade do esforço para a etapa de licenciamento, com pouca atuação após

a emissão da licença ambiental para verificação do cumprimento das condições de validade pactuadas.

Esse cenário começou a mudar com algumas iniciativas, como, por exemplo, a realizada pelo INEA, que criou uma Diretoria de Pós-Licença (DIPOS), sendo o primeiro órgão no país a dedicar atenção especial ao assunto, de forma integrada com a fiscalização e o monitoramento da qualidade ambiental (ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2017).

Finalmente, a cronologia dos fatos remete a pesquisa novamente ao cenário federal, com dois processos em tramitação no Congresso Nacional que, se aprovados, podem trazer significativas mudanças para o licenciamento ambiental, quais sejam: o Projeto de Lei (PL) nº 3729/2004, em tramitação na Câmara dos Deputados, e a Proposta de Emenda à Constituição (PEC) nº 65, de 2012, em tramitação no Senado Federal.

O PL nº 3729/2004 apresenta como ementa a instituição de uma Lei Geral de Licenciamento Ambiental (BRASIL, 2017a). Dentre os principais pontos que constam na versão mais recentemente disponibilizada para debate, datada de 03 de julho de 2017, destacam-se os seguintes:

- definição de área diretamente afetada (ADA) e área de influência;
- definição de autoridade envolvida (Fundação Nacional do Índio – Funai, Fundação Cultural Palmares – FCP, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN e demais autoridades responsáveis pelo patrimônio histórico e cultural, e órgãos executores do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC). A manifestação das autoridades envolvidas não vincula a decisão final da autoridade licenciadora quanto à licença ambiental;
- definição de prazo para a autoridade envolvida, que deverá apresentar manifestação conclusiva para subsidiar a autoridade licenciadora no prazo máximo equivalente à metade do prazo concedido para a autoridade licenciadora. A ausência de manifestação da autoridade envolvida no prazo estabelecido não obsta o andamento do processo de licenciamento, nem a expedição da licença ambiental;
- previsão da licença ambiental por adesão e compromisso (LAC): licença que autoriza a instalação e a operação de atividade ou empreendimento, mediante declaração de adesão e compromisso do empreendedor aos

critérios, pré-condições, requisitos e condicionantes ambientais estabelecidos pela autoridade licenciadora, desde que se conheçam previamente os impactos ambientais da atividade ou empreendimento, as características ambientais da área de implantação e as condições de sua instalação e operação;

- previsão da licença ambiental única (LAU): licença que autoriza a instalação e a operação de atividade ou empreendimento, aprova as ações de controle e monitoramento ambiental e estabelece condicionantes ambientais para a sua instalação e operação e, quando necessário, para a sua desativação, em uma única etapa;
- previsão da licença de operação corretiva (LOC): ato administrativo que regulariza atividade ou empreendimento que opera sem licença ambiental, por meio da fixação de condicionantes e outras medidas que viabilizam sua continuidade e conformidade com as normas ambientais;
- a LP pode ser aglutinada à LI em procedimento bifásico (LP/LI);
- a LI pode ser aglutinada à LO em procedimento bifásico (LI/LO);
- O licenciamento ambiental pelo procedimento simplificado poderá ser: bifásico; em fase única; ou por adesão e compromisso;
- a licenças que compreendem a fase de operação deixam de estar limitadas ao prazo máximo de 10 anos. Os prazos máximos de validade das licenças previstas no inciso III serão determinadas pela autoridade licenciadora, de forma justificada, e não poderão ser emitidas por período indeterminado. Também fica estabelecido o prazo mínimo de 5 anos, ao invés de 4 anos;
- a LO poderá ser renovada automaticamente, por igual período, a partir de declaração do empreendedor, em formulário disponibilizado na *internet*, desde que atendidas simultaneamente as seguintes condições: as características e o porte da atividade ou empreendimento não tenham sido alterados; a legislação ambiental aplicável à atividade ou empreendimento não tenha sido alterada; e as condicionantes aplicáveis tenham sido cumpridas.
- há uma relação um pouco mais objetiva de atividades ou empreendimentos que não estão sujeitos ao licenciamento ambiental;

- nos licenciamentos de competência municipal ou distrital, a aprovação do projeto equivale à licença urbanística e ambiental integrada do empreendimento;
- o gerenciamento dos impactos ambientais e a fixação de condicionantes das licenças ambientais devem maximizar os impactos positivos e atender à seguinte ordem de prioridade: evitar os impactos ambientais negativos; minimizar os impactos ambientais negativos; e compensar os impactos ambientais negativos não mitigáveis, na impossibilidade de evitá-los;
- as condicionantes ambientais devem ter fundamentação técnica que aponte a relação direta com os impactos ambientais da atividade ou empreendimento identificados nos estudos requeridos no processo de licenciamento ambiental;
- caso sejam adotadas, pelo empreendedor, novas tecnologias, programas voluntários de gestão ambiental ou outras medidas que comprovadamente permitam alcançar resultados mais rigorosos do que os padrões e critérios estabelecidos pela legislação ambiental, a autoridade licenciadora deverá, motivadamente, estabelecer condições especiais no processo de licenciamento ambiental, incluindo: redução de prazos de análise; dilação de prazos de renovação da LO, LI/LO ou LAU; ou outras medidas cabíveis, a critério do órgão colegiado deliberativo do SISNAMA;
- o licenciamento ambiental passa a não depender mais da emissão da certidão de uso, parcelamento e ocupação do solo urbano emitida pelos municípios, bem como autorizações e outorgas de órgãos não integrantes do SISNAMA, sem prejuízo do atendimento, pelo empreendedor, da legislação aplicável a esses atos administrativos;
- nos casos de atividades ou empreendimentos localizados na mesma área de influência, a autoridade licenciadora poderá aceitar estudo ambiental para o conjunto, dispensando a elaboração de estudos específicos para cada atividade ou empreendimento;
- definição de prazos máximos de análise para emissão da licença, contados a partir da entrega do estudo ambiental pertinente e demais informações ou documentos requeridos na forma desta Lei: 10 (dez) meses para a LP, quando o estudo ambiental exigido for o EIA; 6 (seis) meses para a LP, para

os casos dos demais estudos; 4 (quatro) meses para a LI, LO, LOC e LAU; 6 (seis) meses para as licenças do rito bifásico; e 30 (trinta) dias para a LAC.

- o decurso dos prazos máximos sem a emissão da licença ambiental continua não implicando emissão tácita, nem autoriza a prática de ato que dela dependa ou decorra, mas instaura a competência supletiva de licenciamento;
- o empreendedor deverá atender às exigências de complementação no prazo máximo de 4 (quatro) meses, contado do recebimento da respectiva notificação, podendo esse prazo ser prorrogado, a critério da autoridade licenciadora, desde que justificado pelo empreendedor. O descumprimento injustificado do prazo ensejará o arquivamento do processo de licenciamento ambiental;
- o processo de licenciamento ambiental que ficar sem movimentação durante 2 (dois) anos sem justificativa formal, mediante notificação prévia ao empreendedor, poderá ser arquivado.

Outra matéria importante em tramitação no Congresso Nacional, no Senado Federal é a PEC nº 65/12, que propõe acrescentar ao art. 225 da Constituição Federal um parágrafo para assegurar a continuidade de obra pública após a concessão da licença ambiental e dispõe que a apresentação do estudo prévio de impacto ambiental importa autorização para a execução da obra, que não poderá ser suspensa ou cancelada pelas mesmas razões a não ser em face de fato superveniente (BRASIL, 2017b).

Art. 1º. O art. 225 da Constituição passa a vigorar acrescido do seguinte § 7º.

Art. 225.

§ 7º A apresentação do estudo prévio de impacto ambiental importa autorização para a execução da obra, que não poderá ser suspensa ou cancelada pelas mesmas razões a não ser em face de fato superveniente.

Na justificação oficial, o argumento favorável à PEC é baseado nas obras inacabadas ou nas obras ou ações que se iniciam e são a seguir interrompidas mediante decisão judicial de natureza cautelar ou liminar, provenientes, muitas vezes, de ações judiciais protelatórias, resultando em severo prejuízo para a prestação de serviços públicos fundamentais, como educação e saúde, como também em obras importantes para a sociedade, como pontes e rodovias.

Entretanto, os críticos à PEC nº 65/12 defendem que, com o texto em tramitação, seria decretado o fim do licenciamento ambiental, pois embora na justificativa oficial conste que a proposta “assegura que uma obra uma vez iniciada, após a concessão da licença ambiental e demais exigências legais, não poderá ser suspensa ou cancelada senão em face de fatos novos, supervenientes à situação que existia quando elaborados e publicados os estudos”, tal dispositivo não está claro no parágrafo que se pretende acrescentar ao art. 225 da Constituição Federal, motivo pelo qual a proposta foi muito criticada. No portal do Senado Federal uma consulta aberta à participação popular mostra que mais de 98% dos respondentes são contrários à PEC. O processo se encontra na Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania, sem tramitação desde 01 de dezembro de 2016 (BRASIL, 2017b).

2.2.2 Desafios e perspectivas para o Licenciamento Ambiental

Para que o licenciamento ambiental alcance os resultados esperados pela sociedade com eficiência, eficácia e efetividade, uma série de desafios devem ser superados. O maior desafio, talvez, resida na sua própria natureza complexa, dinâmica e multidisciplinar. Outrossim, merecem destaque a falta de diretrizes técnicas e capacitação dos agentes ambientais.

Para ilustrar essa característica basta relacionar os assuntos mais comumente associados ao tema, como podem ser citados como exemplos: indústrias, saneamento, resíduos, obras de infraestrutura, extração mineral, agropecuária, agrotóxicos, conflitos socioambientais, estudo de impacto ambiental, controle de poluição, recuperação de área degradada, unidades de conservação, mudanças climáticas, análise de risco, supressão de vegetação, manejo de fauna, controle de agrotóxicos, outorga de direito de uso de recursos hídricos, organismos geneticamente modificados, dispersantes químicos, parcelamento do solo, compensação ambiental, termo de ajustamento de conduta e muitos outros.

Quando a complexidade de temas associados encontra lacunas em leis e normas, criam-se condições favoráveis para a insegurança jurídica e para a judicialização dos processos de licenciamento, fazendo com que o assunto migre da esfera administrativa e sobrecarregue ainda mais o Sistema Judiciário, que segundo dados do Relatório Justiça em Números, chegou ao final do ano de 2016 com 79,7

milhões de processos em tramitação aguardando alguma solução definitiva (CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA, 2017).

Ao mesmo tempo, uma sociedade cada vez mais ciente, consciente e participativa exige respostas mais ágeis da Administração Pública, encontrando todo o respaldo legal para participação em audiências públicas e para ter assegurado o direito fundamental de acesso à informação.

Quando a sociedade não encontra espaço apropriado para discussão de políticas públicas relacionadas à infraestrutura, ao trabalho e renda, ao saneamento básico, à saúde, à segurança e à educação, muitas vezes será durante o curso de um processo de licenciamento, em particular na realização da audiência pública, que tais necessidades e anseios virão à superfície, talvez pela ausência ou limitação de fóruns mais apropriados para a discussão desses importantes temas que devem ser debatidos considerando a participação popular. Configura-se então o desafio de se estabelecer e esclarecer quais são os objetivos do licenciamento ambiental e quais são as responsabilidades e contrapartidas do responsável pelo empreendimento ou atividade nos limites estabelecidos pela Lei.

Interesses divergentes alimentam disputas e a mediação de conflitos socioambientais, com abordagem integrada de suas múltiplas variáveis, se apresenta como mais um desafio comum na pauta do licenciamento ambiental. Temas polêmicos como uso do amianto, reservas legais, construção de barragens, ocupações em unidades de conservação, populações tradicionais e conflito pelo uso da água vem se tornando cada vez mais frequentes (THEODORO, 2005, p. 13-19).

Nos dias 26 e 27 de junho de 2013, encerrando o mês comemorativo do Dia mundial do meio ambiente, a Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente (ABEMA) realizou, em Brasília, o Encontro Nacional sobre Licenciamento e Governança Ambiental. O evento, aberto pela ministra do meio ambiente, contou com a participação de cento e oitenta pessoas, entre associados da ABEMA, representantes de Ministérios, do Poder Judiciário, do Poder Legislativo e dos setores produtivos privados, a exemplo da Confederação Nacional da Indústria (CNI), Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), Confederação Nacional do Transporte (CNT), além de técnicos e agentes ambientais federais, estaduais e municipais. Estiveram presentes ainda representantes do terceiro setor, sociedade civil e outras entidades (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENTIDADES ESTADUAIS DE MEIO AMBIENTE, 2013b).

Como resultado do encontro, que teve repercussão nacional, foi elaborado documento intitulado Novas Propostas para o Licenciamento Ambiental no Brasil, que enumerou 11 desafios e oportunidades, apresentados na Tabela 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENTIDADES ESTADUAIS DE MEIO AMBIENTE, 2013a).

A análise dos desafios identificados e das propostas apresentadas revela tanto demandas que se encontram sob a gestão direta dos órgãos ambientais, como outras que transcendem a sua área de atuação e competência. Enquanto os desafios nº 2, 3, 7 e 9 apresentam grande potencial de serem equacionados no âmbito dos órgãos ambientais, os desafios nº 1, 4, 5, 6, 8, 10 e 11 mostram ser também necessária a participação de outras instâncias de governo e da sociedade para serem superados.

Os desafios listados no primeiro grupo apresentam origens semelhantes, uma vez que versam sobre metodologias ineficientes e capacitação deficitária, permeando aspectos como falta de objetividade, normas imprecisas, procedimentos que aumentam o grau de discricionariedade, subjetividade, imprecisão, necessidade de adaptação de procedimentos, falta de embasamento para o analista, necessidade de análise interdisciplinar, necessidade de capacitação das equipes técnicas, falta de consolidação das normas e necessidade de estimular o uso de ferramentas modernas de gestão. Sobre a subjetividade e imprecisão, a ABEMA destacou como:

“[...] sem dúvida, um dos óbices que mais fragiliza o licenciamento na atualidade, na medida em que prolonga desnecessariamente os prazos, abre espaço para a politização do processo - dependendo das convicções ideológicas do analista - e aumenta a aversão ao risco por parte dos técnicos que podem ser punidos criminalmente pela Lei dos Crimes Ambientais (9.605/98), já que a subjetividade e a imprecisão permitem interpretações variadas e não raro opostas da decisão adotada, levando à frequente atuação do Ministério Público.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENTIDADES ESTADUAIS DE MEIO AMBIENTE, 2013a).

A publicação aponta também a necessidade de estabelecer uma definição clara e exaustiva das tipologias e destaca a adoção de procedimentos de licenciamento adaptados às características dos empreendimentos como:

“[...] um dos pontos-chave para desburocratizar o processo, na medida em que a revisão das tipologias e a definição de parâmetros para a exigibilidade do licenciamento e adaptação dos procedimentos darão o embasamento para o analista avaliar os impactos seguindo roteiro previamente definido” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENTIDADES ESTADUAIS DE MEIO AMBIENTE, 2013a).

Embora o modelo atual de regularização de empresas no Brasil, no qual o licenciamento ambiental ocupa relevante papel, seja insustentável e carente de urgentes alterações, esse instrumento de política pública apresenta perspectiva de

fortalecimento na medida em que atende aos anseios da sociedade pela sua simplificação e otimização, com diretrizes mais setoriais e menos pontuais, de forma a compatibilizar o desenvolvimento socioeconômico com a preservação da qualidade do ambiente e do equilíbrio ecológico, promovendo o desenvolvimento sustentável.

Tabela 1. Relação de desafios e propostas para o Licenciamento Ambiental.

	Desafio	Situação atual	Proposta
1	Momento da Avaliação de Impacto Ambiental - AIA	<p>Na maioria dos casos, em toda a fase de implantação de um empreendimento a variável ambiental só aparece no balcão do licenciamento, levando para o órgão licenciador todas as expectativas socioambientais da comunidade com o projeto e, conseqüentemente, os conflitos latentes que foram se acumulando nas fases anteriores, desde sua concepção. Nos casos mais complexos, o momento do licenciamento se torna gerador de conflitos e crises.</p>	<p>Estimular, sob a coordenação dos governos, a realização de Avaliação Ambiental Estratégica - AAE dos programas governamentais que se desdobram em projetos de grande porte e grande impacto (energia, mineração, infraestrutura, etc.); introduzir, também sob coordenação dos governos, em setores e atividades não cobertas pela AAE, a Avaliação Ambiental Integrada - AAI com foco no território (ex: bacia hidrográfica) onde os projetos conjugados de um ou mais programas serão instalados, visando à avaliação dos impactos sinérgicos e cumulativos, sob responsabilidade do empreendedor; realizar a Avaliação de Impacto Ambiental - AIA na fase de análise da Licença Prévia, com processo amplo de consulta pública. Conforme o contexto econômico e socioambiental, a AAI pode estar incluída na AAE ou estabelecer TdR para elaboração de AIA com escopo e conteúdo que contemple a Avaliação Ambiental Integrada, no sentido de permitir a análise dos impactos sinérgicos e cumulativos sobre determinado território, contando com as informações dos Planos Diretores de Bacias Hidrográficas, nos casos em que já tenham sido elaborados. É com base nesses estudos que se deve definir com clareza a significância dos impactos e as medidas mitigadoras e compensatórias, cujos custos deverão ser incluídos obrigatoriamente como parte dos custos do empreendimento, superando a fase atual em que as condicionantes impostas para assegurar o cumprimento das medidas compensatórias e mitigadoras constituem apêndice do projeto, não raro excluídos do orçamento do empreendimento a ser executado.</p>

Desafio	Situação atual	Proposta
2 Fator locacional	<p>A ausência da dimensão territorial representa uma das principais lacunas no processo de licenciamento ambiental, na medida em que não leva em conta, na maioria das vezes, o espaço geográfico no qual os projetos são implantados. Como a LP objetiva examinar a viabilidade ambiental do projeto, incluindo a localização do empreendimento, sua concessão fica prejudicada pela falta de informações geográficas, a não ser em casos em que se conhecem as restrições locais predefinidas como áreas protegidas, sítio arqueológico, paleontológico, espeleológico, APP, RL, etc. Como se adota um modelo de licenciamento por fonte, isto é, empreendimento por empreendimento, o modelo atual falha em não dispor de mecanismos para avaliar os impactos cumulativos e sinérgicos, sem os quais os danos ambientais distribuídos no território não são suficientemente examinados.</p>	<p>Institucionalizar a variável locacional como um dos parâmetros utilizados para classificar os empreendimentos e orientar o licenciamento ambiental, sempre que disponíveis instrumentos de gestão territorial, tais como zoneamento ecológico-econômico, planos de gestão de bacias hidrográficas e aéreas, mapeamento de cobertura florestal. Isto significa que, além do porte e do potencial poluidor, quando existentes as ferramentas de gestão territorial, deve-se incluir a localização, compondo uma equação com três variáveis, fazendo com que a classificação aumente na proporção em que aumenta a vulnerabilidade ecológica do território. Esta iniciativa demanda investimentos em sistemas de informações geográficas, geotecnologias e tecnologia da informação. Outra oportunidade é estabelecer como referência espacial para os estudos de natureza locacional o zoneamento ecológico-econômico, a bacia hidrográfica, como já previsto na Lei Nacional das Águas (9.433/97), a bacia aérea, o mapeamento da cobertura florestal. Aqui também deve entrar a AAI, quando não contemplada na AAE, para medir os impactos que se acumulam num determinado espaço e que não são alcançados no licenciamento tradicional por fonte. Os impactos cumulativos podem ser avaliados, ainda, no EIA, quando assim o termo de referência determinar, ou incluídos na AAE, dispensando, neste caso, a necessidade de AAI.</p>

Desafio		Situação atual	Proposta
3	Subjetividade e imprecisão	<p>É notória a falta de objetividade na maioria dos processos de licenciamento em virtude de normas imprecisas e procedimentos que aumentam o grau de discricionariedade dos analistas e dos gestores, o que leva invariavelmente à solicitação de informações complementares que retardam os processos e aumentam em demasia os prazos. Este é, sem dúvida, um dos óbices que mais fragiliza o licenciamento na atualidade, na medida em que prolonga desnecessariamente os prazos, abre espaço para a politização do processo - dependendo das convicções ideológicas do analista e aumenta a aversão ao risco por parte dos técnicos que podem ser punidos criminalmente pela Lei dos Crimes Ambientais (9.605/98), já que a subjetividade e a imprecisão permitem interpretações variadas e não raro opostas da decisão adotada, levando à frequente atuação do Ministério Público.</p>	<p>Estabelecer nova classificação das atividades efetiva e potencialmente poluidoras, levando em conta as tipologias a serem reconfiguradas, conforme o porte, o potencial e a localização. Ao longo do tempo, os mesmos procedimentos previstos para os empreendimentos industriais foram adotados para os de infraestrutura e depois estendidos para as atividades agropecuárias e florestais. É óbvio que se trata de tipologias distintas, que exigem distintos procedimentos, levando em conta, ainda, o grau de complexidade de cada tipo de atividade.</p> <p>Torna-se fundamental estabelecer uma definição clara e exaustiva das tipologias para, em seguida, definir parâmetros para identificação das atividades passíveis de licenciamento e orientadores da análise por parte dos gestores. Neste contexto, é oportuno rever a obrigatoriedade do Licenciamento trifásico, a ser adotado somente nos casos em que sua aplicação tiver pertinência com a tipologia licenciada, especialmente com o ciclo econômico das atividades, permitindo-se adoção de procedimentos de licenciamento adaptados às características dos empreendimentos. Concretamente, este é um dos pontos-chave para desburocratizar o processo, na medida em que a revisão das tipologias e a definição de parâmetros para a exigibilidade do licenciamento e adaptação dos procedimentos darão o embasamento para o analista avaliar os impactos seguindo roteiro previamente definido.</p>

Desafio	Situação atual	Proposta
<p data-bbox="174 810 203 834">4</p> <p data-bbox="248 743 389 906">O que é significativo impacto ambiental?</p>	<p data-bbox="506 467 1243 1185">O conceito de significativo impacto estatuído na Constituição e na PNMA não foi, ainda hoje, regulamentado ou descrito com a precisão devida por meio de padrões e critérios para caracterizá-lo. À falta de uma definição e de uma listagem das tipologias que podem provocar significativo impacto ambiental, tudo passa a ser tratado como significativo, impedindo que se adotem modelos simplificados de licenciamento. É em razão desta indefinição que o Ministério Público mais recorre para exigir o licenciamento completo (LP + LI + LO) com a elaboração do estudo de impacto ambiental – EIA/RIMA, baseando-se nas regras atualmente em vigor, que datam de 1986. Várias iniciativas estaduais de simplificação dos procedimentos de licenciamento, sem nenhum prejuízo para a qualidade e eficácia das licenças expedidas, correm sério risco de serem derogadas sob o entendimento de que os impactos são significativos.</p>	<p data-bbox="1283 651 2116 1002">Definir com o máximo de clareza parâmetros para caracterização de tipologias de significativo impacto, para fins de obrigatoriedade do EIA/RIMA como condicionante para o licenciamento ambiental. Esta definição pressupõe estabelecer critérios baseados no porte, no potencial poluidor e na localização dos empreendimentos, estabelecendo uma linha de base comum a todos os entes federados, a partir da qual as atividades serão classificadas, levando em conta as peculiaridades locais.</p>

	Desafio	Situação atual	Proposta
5	Interveniência ou Intervenção?	<p>As anuências exigidas pelo licenciamento de órgãos e entidades que atuam fora da órbita da administração de meio ambiente, as chamadas instituições intervenientes, acabaram criando instâncias decisórias paralelas e um quadro de confusão institucional que estão tornando o Licenciamento uma disputa de órgãos do Poder Público sem regras pré-definidas ou com regras que mudam durante o percurso. Na maioria dos casos, incluindo a esfera federal, mesmo entre as entidades que compõem a gestão ambiental, ainda não foi adotado o princípio do licenciamento integrado, transformando a regularização ambiental num processo de múltiplas licenças, já que os intervenientes estão adotando suas próprias regras e autorizações.</p>	<p>Desvincular as anuências de instituições intervenientes que não tratam de assuntos relacionados diretamente ao licenciamento ambiental e regulamentar prazos para matérias relacionadas diretamente a este instrumento, tais como outorga de recursos hídricos e autorização de supressão de vegetação. Dessa forma, que seja dado foco ao Licenciamento Ambiental, estabelecendo-se como meta o princípio da regularização ambiental integrada, que permite a avaliação concomitante de todos os impactos num mesmo espaço territorial e beneficia o empreendedor, que ficará dispensado de percorrer vários escaninhos da burocracia para regularizar seus empreendimentos ao ter uma única interlocução e um único balcão de entrada.</p>

Desafio	Situação atual	Proposta
6 Compensação Ambiental e Condicionante	<p>As medidas compensatórias adotadas no âmbito do Licenciamento são exigidas com fundamento na necessidade de compensar os impactos ambientais que não podem ser evitados e de mitigação parcial ou insuficiente. Além da compensação prevista na Lei 9.885/00, do Snuc, cuja constitucionalidade foi declarada pelo STF, mas que ainda não foi totalmente ajustada à súmula da Suprema Corte, o mecanismo da compensação deve guardar sintonia com os impactos ambientais que lhe dão origem.</p> <p>Todavia, não é isto que ocorre hoje em razão das condicionantes exigidas em cada uma das anuências, quando os órgãos intervenientes aproveitam para impor compensações - que nada têm a ver com os impactos ambientais causados - para suprir carências institucionais e operacionais de funcionamento não atendidas pelo Poder Público. Em algumas situações, a mesma disfunção ocorre com os OEMAs - Órgãos Estaduais de Meio Ambiente, com a atenuante de que, neste caso, trata-se do fortalecimento institucional da gestão ambiental. Ainda assim, a compensação e as condicionantes que asseguram sua efetividade devem ter clara vinculação com os impactos em relação aos quais devem ser fixadas. Da forma como está sendo praticado hoje, este mecanismo se transformou num escambo, que contribui para enfraquecer e desgastar o Licenciamento Ambiental e desviá-lo de sua finalidade original.</p>	<p>A adoção deste importante mecanismo do Licenciamento demanda regras claras, nacionalmente estatuídas e fixadas em normas específicas, estabelecendo os procedimentos e a forma de compensação através de Decreto Presidencial, complementado em suas especificidades pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - Conama e pelos Conselhos Estaduais. É imperioso distinguir: - a compensação ambiental da Lei n. 9.985/2000, já regulamentada em Decreto e Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, bem como por alguns Conselhos Estaduais, e - as condicionantes de licenciamento, que devem guardar estrita relação com os impactos ambientais negativos e não mitigáveis dos empreendimentos, identificados nos estudos ambientais que instruem o licenciamento. Para estes casos, devem ser estabelecidas regras claras que orientem a imposição de condicionantes pelos órgãos licenciadores e eventuais intervenientes ou anuentes.</p>

	Desafio	Situação atual	Proposta
7	Interdisciplinaridade e Parecer	<p>A metodologia utilizada para a avaliação dos impactos, através da análise do EIA/RIMA, tem dificultado, também, a qualidade e a celeridade do Licenciamento. O método multidisciplinar, embora reúna a expertise necessária a uma boa avaliação, é aplicado de forma segmentada, por área do conhecimento, o que gera, muitas vezes, pareceres conflitantes e contraditórios que dificultam o resultado final e retardam a decisão do gestor. Manifestações isoladas do contexto podem levar à visão unilateral prejudicial ao conjunto. Nesse modelo, o parecer jurídico é realizado após o parecer técnico, nem sempre em ato contínuo, que, ao concluir por alguma inconformidade legal, paralisa o processo, podendo alterá-lo ou, em alguns casos, até mesmo anulá-lo</p>	<p>Recomenda-se a adoção da análise interdisciplinar, reunindo os especialistas requeridos em cada caso, incluindo, quando exigível o parecer jurídico, e sempre que possível, a participação nos grupos de análise dos advogados encarregados por sua elaboração, possibilitando-se harmonizar os pareceres técnico e jurídico, findo o qual o processo pode ser decidido pelo gestor. Ao colocar a análise jurídica evoluindo a par da análise técnica, eventuais erros formais ou arguições de ilegalidade seriam verificados na fase de instrução do processo, podendo ser sanados a tempo, sem a demora que ocorre na avaliação legal distante da evolução da análise técnica interdisciplinar. Esta metodologia favorece a interlocução do empreendedor, a troca de informações e o intercâmbio de conhecimento relativamente à melhor opção tecnológica e à alternativa locacional inerente ao empreendimento. Cada equipe interdisciplinar passa a ter o seu coordenador, que é o coordenador daquele Licenciamento. Sugere-se, também, a capacitação das equipes técnicas em direito ambiental, de modo a não sobrecarregar as assessorias jurídicas, bem como a criação de uma biblioteca virtual no portal da Abema e a promoção de encontros regionais de capacitação.</p>

Desafio	Situação atual	Proposta
8 Consulta Popular e as Audiências Públicas	<p>Esta é reconhecidamente uma das principais etapas do processo de Licenciamento, mas o formato atual das audiências públicas, como meio de consultar e informar a população, principalmente a comunidade afetada pelos empreendimentos, tem servido mais para outros objetivos do que para aperfeiçoar o processo de tomada de decisão.</p> <p>É neste momento que todas as expectativas socioambientais da coletividade, notadamente da comunidade afetada, se manifestam, incluindo os interesses legitimamente contrariados e aqueles que interferem no processo por razões políticas e ideológicas, que extrapolam a finalidade do instrumento, mas que, não tendo a oportunidade de participar nas fases anteriores, principalmente no momento em que se decide pela sua implantação, encontram no LA e nas audiências públicas o espaço da sua manifestação.</p> <p>Pelas razões expostas no Desafio 01, as audiências acabam servindo como instância para os setores que se opõem ao Projeto atuarem no sentido de inviabilizá-lo, sabendo-se que não é este o papel do Licenciamento, embora possa ocorrer diante de projetos mal concebidos, mas em situações extremas. Na verdade, as audiências públicas representam a oportunidade de a comunidade afetada discutir os impactos ambientais negativos e positivos das atividades a ser implantadas, verificar se foram adequadamente aferidos e, a partir daí, definir e dimensionar as medidas mitigadoras e</p>	<p>Mudar o formato das audiências públicas e a estratégia de consultar a comunidade. Como instrumento que lida com conflitos, o Licenciamento Ambiental, como já ocorre, deve ser pautado, ainda mais intensamente, com o máximo de transparência. O modelo atual das audiências impede que haja uma interação positiva entre os empreendedores, o órgão licenciador e a comunidade. Um dia ou algumas horas de apresentação e debate de um empreendimento, em que o empreendedor tem uma hora para apresentar o projeto e os representantes inscritos da comunidade três a cinco minutos para expor suas ideias e demandas, não pode ser considerado um processo adequado de consulta pública.</p> <p>Propõe-se: I) desenvolver sistema de informação ambiental eletrônico, com acesso universal, que possibilite o acompanhamento pela sociedade de todas as etapas do LA e o acesso aos estudos apresentados pelo empreendedor, criando um fórum eletrônico de debates e garantindo a ampla publicação; II) regulamentar, como obrigatoriedade do empreendedor e a critério do órgão ambiental licenciador, a realização de oficinas públicas, para os empreendimentos de significativo impacto ambiental, visando à apresentação do projeto, dos estudos e das medidas que serão adotadas para compensar, mitigar ou evitar os impactos associados à instalação e funcionamento do empreendimento nas comunidades inseridas na área de abrangência; e III) regulamentar o funcionamento das audiências públicas, de modo a garantir que elas se restrinjam à discussão de empreendimentos de significativo impacto ambiental,</p>

Desafio	Situação atual	Proposta
	<p>compensatórias a serem atribuídas ao empreendedor, com total transparência.</p> <p>Neste modelo, o empreendedor lista sumariamente os impactos, quando o tempo permite, e faz propaganda do seu empreendimento. Os representantes da comunidade diretamente afetada têm alguns minutos, utilizados, na maioria das vezes, para vociferar contra o projeto, condenar a sua execução e não raro para combater o modelo econômico, introduzindo um debate que deveria ter ocorrido antes, quando se decidiu executar o projeto. Com isto, perde-se a oportunidade de aperfeiçoar o processo, pois o Licenciamento acaba sendo aprovado, a não ser quando o projeto não atende minimamente aos requisitos do LA.</p>	<p>com avaliação das medidas que serão adotadas para compensar, mitigar ou evitar os impactos associados à instalação e funcionamento do empreendimento nas comunidades inseridas na área de abrangência.</p>

Desafio	Situação atual	Proposta
<p>9</p> <p>Capacidade Institucional e Capacitação Técnica</p>	<p>Qualquer reforma do Sistema Nacional de Licenciamento Ambiental, por mais completa que possa ser, vai esbarrar na fragilidade institucional do Sistema Nacional de Meio Ambiente - Sisnama e na falta de meios operacionais, incluindo recursos orçamentários, financeiros, humanos e logísticos. Além da fraca capacidade institucional, não existem programas permanentes de capacitação e treinamento de pessoal para manter quadros competentes e atualizados com o conhecimento de ponta e com ferramentas modernas de gestão.</p> <p>A incapacidade institucional do sistema, por sua vez, abre espaço para a atuação cada vez mais intensa do Ministério Público, que, em alguns Estados, já conta com quadros técnicos em quantidade e qualidade superiores aos dos próprios órgãos licenciadores. O protagonismo do Ministério Público ocorre nas lacunas deixadas pelos órgãos e entidades gestoras, seja na fase da análise e de avaliação dos impactos, por vezes deficientes em razão da ausência de profissionais devidamente habilitados, seja na quase generalizada incapacidade do Sisnama para acompanhar e fiscalizar a aplicação das condicionantes que asseguram a eficácia das medidas mitigadoras e compensatórias.</p>	<p>Estabelecer uma estrutura organizacional e operacional do Sistema que lhe dê a robustez requerida para atender, dentro de padrões de qualidade gerencial satisfatórios, às demandas de regularização ambiental e a implantação integrada dos instrumentos da gestão ambiental. Esta é uma questão recorrente que permanece em pauta pela incapacidade política demonstrada pelo Poder Público de superar este desafio. Sem uma aliança bem estruturada entre o Ministério do Meio Ambiente - MMA, os órgãos estaduais de meio ambiente, o Ministério Público, as entidades de classe do setor produtivo e as ONGs da área socioambiental, a tendência é que o assunto permaneça no limbo das questões preteridas. É estratégico e urgente construir um grande pacto, com base no princípio poluidor-usuário/pagador para gerar receitas no montante necessário para dar ao País uma administração ambiental proporcional à magnitude dos problemas que estão postos e por vir. Devem-se instituir novas fontes de financiamento para a gestão ambiental e o fortalecimento institucional dos órgãos voltados para gestão, fiscalização e controle.</p> <p>A TFA foi uma iniciativa embrionária, de grande alcance, mas é uma medida tímida diante do que deve ser feito para dar sustentabilidade financeira ao Sisnama. Como parte das reformas, é inadiável definir uma fonte de recursos para financiar a gestão ambiental. Caso contrário, poderá ser obtido o melhor marco regulatório, um sistema quase perfeito, mas que continuará sem capacidade operacional e, portanto, ineficaz.</p>

Desafio	Situação atual	Proposta
<p>10</p> <p>Impactos Interestaduais (Regionais) e Locais</p>	<p>Ao lado da imprecisão dos denominados “significativos impactos”, remanesce a questão enfrentada pelos Estados alusiva aos impactos ambientais de natureza regional, introduzida pela Lei de criação do Ibama e agora alterada pela Lei Complementar. Tem crescido o número de casos em que o Ministério Público Federal - MPF solicita o Licenciamento Federal, mesmo quando o Ibama reconhece que o procedimento é da competência do órgão estadual. Tal como ocorreu com o conceito de significativo impacto, que ficou sem tratamento adequado na LC 140/11, também o impacto regional, de característica interestadual, que foi alçado à competência exclusiva do ente federal, deveria ser tratado de forma compartilhada, explorando melhor o fundamento do federalismo cooperativo consagrado na CF/88. Além disso, a definição consolidada de impactos locais vai exigir regras claras para evitar dubiedades que levem o MPE a solicitar a intervenção estadual para o licenciamento de atividades de natureza local, mesmo nos casos em que os municípios demonstrarem possuir capacidade institucional e capacitação técnica para desempenhar tais atribuições.</p>	<p>O encaminhamento adequado desta questão, que é crucial, depende da regulamentação da LC 140/11. Aqui, sugere-se um entendimento de que, na verdade, há três tipos de situações, além da competência estabelecida para as três esferas de governo: I) O licenciamento federal relativo às atividades localizadas no mar territorial, na plataforma continental, na zona econômica exclusiva, nas Unidades de Conservação de domínio da União, nas Áreas Indígenas, quando extrapolam as fronteiras do País e em outras situações previstas em Lei, cuja competência federal é inquestionável; II) O licenciamento das atividades e/ou empreendimentos ditos regionais, assim chamados até o advento da LC 140/11, que extrapolam as fronteiras dos Estados, mas que não os eximem da responsabilidade e do interesse político-institucional em participar como ator do processo, cujo Licenciamento deve ser compartilhado, isto é, adotar um modelo específico de licenciamento envolvendo equipes dos OEMAs dos Estados diretamente afetados, sob a coordenação da União (Ibama). Cita-se o exemplo de um mineroduto, um empreendimento composto do jazimento mineral, cuja exploração é licenciada pelo Estado onde a mina está localizada, o mineroduto propriamente dito, licenciado pelo Ibama, e o porto, licenciado pelo Estado litorâneo, sem nenhuma articulação entre os entes federados para estabelecer a estratégia de licenciamento. Neste caso, deve estar incluído o licenciamento das atividades localizadas na zona costeira, na intersecção do continente com o mar, a ser definida por Decreto Presidencial, como estabelecido na Lei Complementar, após manifestação da Câmara Tripartite</p>

Desafio		Situação atual	Proposta
			Nacional; III) O licenciamento das atividades locais, estimulando os municípios a atuarem com mais protagonismo na gestão ambiental.
11	Metas de Qualidade Ambiental	<p>A adoção do licenciamento, sem o apoio dos demais instrumentos subsidiários e sem compromisso com metas de qualidade, confirma a sua vocação cartorial, pois o objetivo é a licença pela licença. A gestão gira em torno da Licença Ambiental, que no atual sistema, uma vez concedida, não é mais considerada dentro do sistema, salvo para monitoramento e fiscalização aleatórios. Os padrões de qualidade devem ser fixados transparentemente, como ocorre no Conselho Nacional de Meio Ambiente - Conama, no Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH e nos Conselhos Estaduais, mas eles precisam ser notados no território, nos cursos d'água, na vegetação, no ar e no solo. Na medida em que os empreendimentos são licenciados e a qualidade ambiental não melhora, a sociedade fica com a sensação de que a licença ambiental é uma licença para poluir.</p>	<p>Integrar o Licenciamento com outros instrumentos da política ambiental e outras políticas públicas correlatas, como o Plano Diretor de Bacia Hidrográfica ou instrumento similar, para estabelecer metas de qualidade ambiental, referenciadas no território e que deverão orientar obrigatoriamente as medidas mitigadoras e compensatórias do Licenciamento, lembrando que, na ausência de enquadramento dos corpos d'água, estabelecendo as classes de uso, a classe 2 deve ser observada, o que não acontece na maioria dos casos. A Outorga de Lançamento prevista na Lei 9.433/97, mas praticamente não aplicada e sequer considerada no atual modelo de licenciamento, é outro mecanismo que pode ampliar a eficácia desse instrumento e "forçar" a integração da gestão ambiental. Comparando a Política Nacional de Meio Ambiente - PNMA com a Política Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - PNGRH, verifica-se que existem várias coincidências a considerar, que tornam inexplicável a desarticulação dessas políticas até hoje. O Plano Diretor de Bacia tem similitude com o Zoneamento Econômico - Ecológico - ZEE; o monitoramento, controle e fiscalização são comuns a ambas as políticas; o licenciamento ambiental estabelece os padrões de lançamento dos efluentes líquidos, que também são exigidos na Outorga de Lançamento, exemplos que demonstram a desarticulação e descoordenação do Sisnama. Ou seja, a fúria legiferante e atabalhoada confunde o Sistema e o seu operador.</p>

Fonte: ABEMA (2013a).

2.3 Padrão, Método e Metodologia

Uma vez que o presente trabalho apresenta como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia, fez-se importante estabelecer os conceitos de padrão, método e metodologia. Serão referenciados neste trabalho as definições consagradas na área de administração, mas especificamente aplicados ao gerenciamento de projetos.

Embora o licenciamento possa ser entendido como uma operação, e não propriamente como um projeto, a análise técnica que o subsidia pode ser assumida como um projeto, visto que tem um início, meio e fim, e produz um resultado único.

No contexto do gerenciamento de projetos, um padrão pode ser definido como um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece, pelo uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para atividades ou seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto. Deve ser desenvolvido no âmbito de um processo baseado nos conceitos de consenso, abertura, devido processo legal e equilíbrio (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2016).

Método pode ser conceituado também como regra, norma, busca da verdade, detecção de erros na tentativa de alcançar um objetivo desejado, sendo importante por proporcionar economia de tempo e recursos e por fornecer segurança na ação para se chegar a um resultado pretendido. Alguns autores enfatizam a inteligência e o talento na forma de executar tarefas, ao passo que aspectos de ordem, caminho, segurança e economia na concretização de uma atividade são enfocados por outros autores, destacando-se as seguintes conceituações (SANTOS, 2005):

- É o caminho a seguir para chegar à verdade nas ciências (René Descartes);
- É o caminho pelo qual se chega a determinado resultado (Hegenberg);
- Forma de relacionar técnicas e alternativas para a ação científica (Ackroff);
- É a forma de se proceder ao longo de um caminho (Trujillo);
- Conjunto de procedimentos que se propõe e se coloca em prova (Bunge);
- É a ordem que se deve impor aos diferentes processos para se chegar a um fim (Jolivet);
- Conjunto coerente de procedimentos (Nérice).

Metodologia, por sua vez, é definida como conjunto de métodos, princípios e regras empregados por uma atividade ou disciplina, enquanto método é definido como procedimento, técnica ou meio para se atingir um objetivo (HOUAISS, VILLAR e FRANCO, 2015).

Uma metodologia pode ser entendida também como um sistema de práticas, técnicas, procedimentos e regras usado pelas pessoas que trabalham em uma disciplina (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2013).

Não se deve confundir metodologia de gerenciamento de um produto ou serviço com metodologia de gerenciamento de projetos, pois estão relacionadas a escopos diferentes. Segundo o PMI (2013), o escopo do produto compreende as características e funções que descrevem o produto, serviço ou resultado, enquanto o escopo do projeto consiste no trabalho que deve ser realizado para entregar um produto, serviço ou resultado com as características e funções especificadas.

Segundo Kerzner (2009), o alcance da excelência, ou maturidade, no gerenciamento de projetos é mais provável com um processo repetitivo que possa ser utilizado em cada projeto. Esse processo repetitivo é referido como a metodologia de gerenciamento de projetos, que segundo o autor apresenta algumas características:

- um nível recomendado de detalhes;
- uso de modelos;
- técnicas padronizadas de planejamento, programação e controle de custos;
- relatório em formato padronizado tanto para uso interno quanto pelo cliente;
- flexibilidade para aplicação a todos os projetos;
- flexibilidade para rápidas melhorias;
- fácil para o cliente entender e seguir;
- ser prontamente aceita e utilizada por toda a empresa;
- uso de revisões padronizadas de fases de ciclo de vida (que podem se sobrepor) e de encerramento de fase;
- baseada em orientações ao invés de políticas e procedimentos;
- baseada em uma boa ética de trabalho.

O autor ressalta também a importância de se entender que são as pessoas, e não as metodologias, que gerenciam os projetos e que é a cultura corporativa que executa a metodologia. O gerente sênior deve criar uma cultura corporativa que dê

suporte ao gerenciamento de projetos e demonstrar que acredita na metodologia, podendo ser esperados os seguintes benefícios, se os esforços forem bem-sucedidos:

- mais rápido *time to market* através de um melhor controle do escopo do projeto;
- menor risco global para o projeto;
- melhores processos de tomada de decisão;
- melhor satisfação do cliente, que leva ao aumento de negócios;
- mais tempo disponível para esforços que agregam valor, ao invés de política e concorrência internas.

Podem ser citados como exemplos de metodologias de gerenciamento de projetos em nível de detalhamento de organização as desenvolvidas por órgãos como Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (BRASIL, 2011), Tribunal de Contas da União (BRASIL, 2006) e Tribunal de Justiça do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2012); (O'FLYNN, 2007); (MARTINS e ZOGHBI, 2009); (PISA e OLIVEIRA, 2013).

O emprego de metodologias de gerenciamento de projetos resulta em várias vantagens, dentre as quais podem ser destacadas (CHIN e SPOWAGE, 2010):

- esclarece as metas e objetivos do projeto;
- os processos de trabalho são mais eficientes e eficazes;
- maior flexibilidade e adaptação de lição aprendida de projeto para projeto;
- aumento da precisão no planejamento, identificação e gerenciamento de riscos, desafios e complexidades;
- assegura um maior grau de padronização;
- papéis e responsabilidades claros são identificados, assim a comunicação é aprimorada;
- otimiza entregas e saídas;
- integração de ferramentas, técnicas e conhecimento para melhorar os projetos atuais e futuros;
- otimiza valor a partir de lições aprendidas.

Segundo CHIN e SPOWAGE (2010), as metodologias de gerenciamento de projetos podem ser classificadas em cinco níveis, que variam conforme o grau de especificidade adotado:

- L1 – Melhores práticas, padrões e diretrizes: Embora frequentemente chamados de metodologias, alguns autores proeminentes defendem que em verdade se trata de uma coletânea de melhores práticas, uma vez que não consideram características específicas de uma organização ou setor, o que é uma característica fundamental de uma verdadeira metodologia. De toda forma, constituem fonte de informações extremamente valiosas para o desenvolvimento de novas metodologias de gerenciamento de projetos. São exemplos desse nível o Guia PMBOK e o método PRINCE2, que embora apresente uma abordagem mais orientada a processos não poderia, segundo os autores, ser aplicado diretamente ao gerenciamento de projetos.
- L2 – Metodologia para setor específico: regulações, regras e abordagens específicas podem representar variações no conhecimento de gerenciamento de projetos exigido por diferentes setores. Tais metodologias podem ser construídas extraíndo os elementos apropriados do nível L1 e adicionando componentes exigidos por regras, regulações, melhores práticas específicas do setor, mapeando-os no fluxo natural de trabalho. Merecem destaque as metodologias desenvolvidas e aplicadas no setor de construção civil e de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC).
- L3 – Metodologia customizada para organização específica: consideram a estratégia, estrutura, natureza dos projetos e necessidades de uma organização específica. Podem ser citados como exemplos a *Microsoft Solution Framework (MSF)*, desenvolvida pela *Microsoft*, e o *Rational Unified Process (RUP)*, criada pela IBM. Instituições acadêmicas como Universidade de Princeton e Cornell também desenvolveram metodologias de gerenciamento de projetos. Uma etapa importante no desenvolvimento de metodologias desse nível é integrar com outros sistemas de negócio organizacionais, de forma a facilitar o acesso às informações e a evitar a duplicação da administração.
- L4 – Metodologia para projeto específico: em função da natureza e do tamanho de um projeto em uma dada organização pode ser necessário ajustar a metodologia. Evidentemente, é impraticável desenvolver uma metodologia completamente nova para cada novo projeto dentro da organização. No entanto, garantindo que existe uma aderência a princípios comuns estabelecidos nos demais níveis, bem como que a metodologia é

dinâmica, flexível e adaptativa, pode-se minimizar o tempo de desenvolvimento e de aprendizagem organizacional.

- L5 – Metodologia individualizada: são metodologias com o maior grau de especificidade, aplicadas a projetos individualizados. Uma metodologia L5 pode ser elaborada a partir da extração dos componentes mais relevantes de uma metodologia L4, que é baseada em um projeto específico.

Uma representação da classificação de metodologias de gerenciamento de projetos considerando o grau de especificidade é apresentado na Figura 1 (CHIN, SPOWAGE e YAP, 2012). Os mesmos autores elencam também um conjunto de aspectos que devem ser considerados ao se comparar metodologias de um mesmo nível: fases do projeto; processos do projeto; tipos de projeto; entradas/atividades; saídas/entregáveis; ferramentas e técnicas; modelos de documentos disponíveis; listas de verificação; dicas e sugestões; termos e definições; atualização frequente; abordagem estruturada; facilidade de aplicação; e flexibilidade e escalabilidade.

A metodologia objeto do presente trabalho foi desenvolvida considerando grau de especificidade L2, correspondente ao nível de setor específico, a partir das melhores práticas definidas em nível L1, abrindo caminho para o desenvolvimento de metodologias customizadas para organizações específicas, em nível L3.

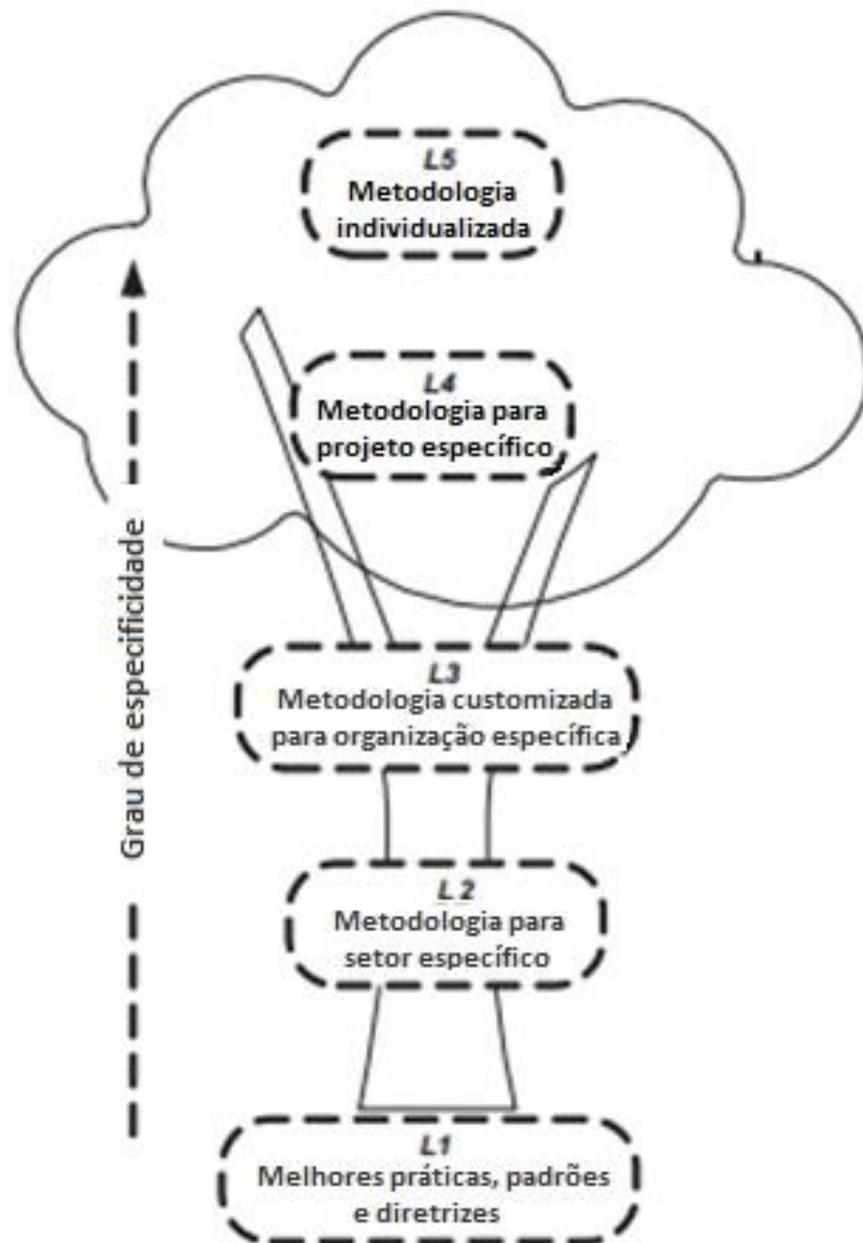


Figura 1. Classificação de metodologias de gerenciamento de projetos considerando o grau de especificidade.

Fonte: Chin e Spowage (2010).

2.4 Aspectos, impactos e controles ambientais

2.4.1 Aspectos ambientais

Aspecto ambiental é um elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização, que interage ou pode interagir com o meio ambiente. Um aspecto ambiental pode causar impacto(s) ambiental(is) e é considerado significativo quando tem ou pode ter um ou mais impactos ambientais significativos, que por sua vez são determinados pela organização aplicando um ou mais critérios (ABNT, 2015). Segundo a mesma norma, na determinação de seus aspectos ambientais a organização pode considerar:

- emissões para o ar;
- lançamentos em água;
- lançamentos em terra;
- uso de matérias-primas e recursos naturais;
- uso de energia;
- emissão de energia (por exemplo, calor, radiação, vibração (ruído) e luz);
- geração de resíduos e/ou subprodutos;
- uso do espaço.

O presente trabalho abordará com mais ênfase, para aplicação da metodologia a ser desenvolvida, os aspectos ambientais emissões para o ar, lançamentos em água, lançamentos em terra, geração de resíduos e/ou subprodutos e emissão de ruído, embora pontualmente possam ser abordados também o uso de matérias-primas e recursos naturais, o uso de energia, a emissão de outras formas de energia além do ruído e o uso do espaço.

Tendo este trabalho uma delimitação mais setorial, conforme delimitação de estudo realizada, não foram consideradas questões locacionais e de receptores sensíveis, que devem ser abordadas, quando da aplicação da metodologia em uma planta industrial específica, conforme explicado anteriormente na introdução deste trabalho.

2.4.2 Impactos ambientais

Segundo a Norma NBR ISO 14.001: 2015, impacto ambiental pode ser definido como modificação no meio ambiente, tanto adversa como benéfica, total ou parcialmente resultante dos aspectos ambientais de uma organização (ABNT, 2015). O impacto ambiental pode ocorrer em escalas local, regional e global, e também pode ser direto, indireto ou cumulativo por natureza, sendo a relação entre os aspectos ambientais e impactos ambientais uma relação de causa e efeito.

A definição estabelecida na Resolução Conama nº 001/86 para impacto ambiental é de qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam (CONAMA, 1986):

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - a qualidade dos recursos ambientais.

Desta forma, conforme a fonte de poluição relacionada aos aspectos ambientais identificados (causas), serão identificados os potenciais impactos significativos (positivos ou negativos) sobre o ambiente (consequências), podendo ser citados, dentre outros (BARBIERI, 2011, p. 16-19):

- eutrofização;
- acidificação;
- rarefação da camada de ozônio;
- perda da biodiversidade;
- mudanças do clima;
- redução da fertilidade do solo;
- esgotamento de recursos.

2.4.3 Controles ambientais

A utilização das melhores técnicas disponíveis (MTD, em inglês *BAT – Best Available Techniques*) tem conquistado cada vez mais espaço na literatura especializada voltada para a produção mais sustentável. Dentre essas as iniciativas destaca-se o trabalho realizado pelo Serviço Europeu de Prevenção e Controle Integrados da Poluição (em inglês EIPPCB - *European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau*), que faz parte da Unidade de Produção e Consumo Sustentáveis do Instituto de Estudos de Prospectivas Tecnológicas, que constitui um dos sete institutos científicos do Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia.

O EIPPCB foi criado em 1997, com sede em Sevilha, na Espanha, com o objetivo organizar a troca de informações entre Estados Membros da União Europeia, a indústria e Organizações Não Governamentais (ONGs), visando à promoção da proteção ambiental por meio de MTD, e monitoramento e desenvolvimento associados. A troca de informações sobre MTD é considerada a contribuição da União Europeia (UE) para um processo global iniciado em 2002 com a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, beneficiando inclusive países não membros da UE.

Em atendimento à Diretiva de Emissões Industriais (IED 2010/75/UE), o EIPPCB organiza e coordena o intercâmbio de informações que levem à elaboração e revisão de documentos de referência, de acordo com o disposto no Guia para Intercâmbio de Informações (Decisão de Execução da Comissão 2012/119/UE). Os principais produtos do trabalho realizado pelo EIPPCB são documentos de referência em MTD, denominados BREFs, que orientam as autoridades competentes nos Estados Membros responsáveis pela emissão de Licença de Operação para instalações que apresentam significativo potencial poluidor na Europa, o que representa um universo de 50.000 indústrias. Cada BREF é o resultado de um processo que dura de dois a três anos e envolve mais de 100 especialistas (EUROPEAN UNION, 2013c).

A consolidação de informações realizada pelo EIPPCB representa importante referência sobre MTD para importantes unidades operacionais e de controle ambiental, e será utilizado como principal referência para a aplicação da metodologia proposta neste trabalho, com ênfase na adoção de medidas de prevenção e de medidas de controle da poluição, nesta ordem de prioridade.

3 METODOLOGIA

*“Se você tem metas para um ano. Plante arroz
Se você tem metas para 10 anos. Plante uma árvore
Se você tem metas para 100 anos então eduque uma criança
Se você tem metas para 1000 anos, então preserve o meio ambiente.”*
Confúcio

A metodologia de pesquisa adotada no presente trabalho se fundamentou na busca e análise das informações necessárias para responder à pergunta de pesquisa, considerando o tema e o problema apresentados e a delimitação de estudo realizada.

O presente trabalho apresenta natureza qualitativa, com coleta de dados secundários, tendo sido aplicada a técnica de pesquisa bibliográfica utilizando-se livros, artigos, revistas científicas, dissertações e teses.

Segundo GOULART e CARVALHO (2005), citado por SANTOS (2014), a pesquisa qualitativa pode fornecer uma importante contribuição para o desenvolvimento de estudos na área de administração, especialmente quando o objetivo é entender “organizações complexas, seus processos, estruturas, contexto, inter-relações”. Neste sentido, RICHARDSON (1999), citado pelo mesmo autor, relata que “em geral, as investigações que se voltam para uma análise qualitativa têm, como objeto, situações complexas ou estritamente particulares”, o que levaria os estudos que empregam metodologia qualitativa a poder “descrever a complexidade de um determinado problema, analisar a interação de certas variáveis, compreender e classificar processos dinâmicos vividos por grupos sociais, contribuir no processo de mudança de determinado grupo e possibilitar em maior nível de profundidade, o entendimento das particularidades do comportamento dos indivíduos” (RICHARDSON, 1999; apud SANTOS, 2014, p. 54).

Em relação à técnica de pesquisa bibliográfica, VERGARA (2011), citado por SANTOS (2014), define como “o estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em livros, revistas, jornais, redes eletrônicas, isto é, material acessível ao público em geral.”, e complementa: “Fornece instrumental analítico para qualquer outro tipo de pesquisa, mas também pode esgotar-se em si mesma” (VERGARA, 2011; apud SANTOS, 2014, p. 57).

Neste sentido, foi realizada pesquisa bibliográfica considerando o tema e o problema de pesquisa, considerando os processos produtivos selecionados (fabricação de vidro, cimento e aço), indicando sua descrição, entradas e saídas, bem como as medidas de prevenção e controle ambiental e legislação relacionadas.

Com base nas informações consolidadas a partir da revisão bibliográfica, considerando a interseção entre os conjuntos de informações referentes aos processos produtivos, controles ambientais e legislação relacionada, conforme ilustrado na Figura 2, estabeleceu-se uma metodologia que pudesse responder ao problema de pesquisa, sendo orientada à identificação de fontes de poluição, uma vez que essas se mostraram ser a região de interseção dos conjuntos.

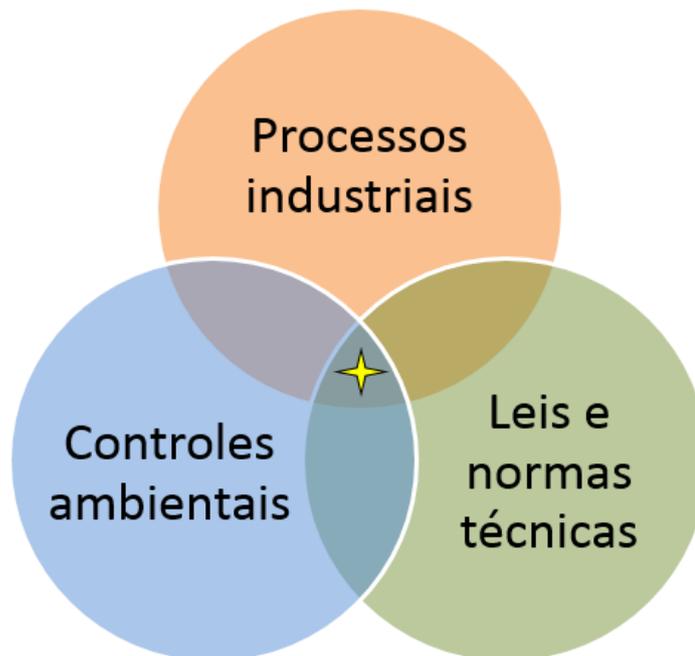


Figura 2. Informações necessárias para o desenvolvimento de metodologia para otimização da análise técnica no licenciamento ambiental.

Fonte: elaboração própria.

O desenvolvimento deve ser pautado nas principais características de uma boa metodologia, conforme descrito por Kerzner (2009): um nível recomendado de detalhes; uso de modelos; técnicas padronizadas de planejamento, relatórios padronizados; flexibilidade para aplicação a todos os projetos; flexibilidade para rápidas melhorias; e ser de fácil entendimento.

Considerando as características acima, as quais se recomenda constar em uma metodologia, e tendo como base o referencial teórico consultado, verificou-se que a forma mais apropriada de responder à pergunta de pesquisa, que versa sobre

a possibilidade do desenvolvimento de metodologia para otimização da análise técnica no licenciamento ambiental, seria buscar desenvolvê-la.

Desta forma, a metodologia de pesquisa foi estruturada com base nos seguintes elementos:

- Descrição de processos produtivos: O conhecimento do processo produtivo é essencial para se entender como cada atividade ou empreendimento impacta, positiva ou negativamente, o ambiente. Como os processos produtivos não são perfeitos, resíduos de diversos equipamentos e operações podem impactar o ar, as águas e o solo, além de poder configurar risco ambiental tecnológico;
- Identificação de fontes de poluição ambiental: Uma vez identificadas as etapas do processo produtivo, deve ser realizada a decomposição hierárquica até a identificação das fontes de poluição, relacionando as fontes de emissões para o ar, de lançamentos em água, de lançamentos em solo, de emissões de pressão sonora (ruído) e de geração de resíduos e coprodutos;
- Identificação de medidas de prevenção e controle da poluição: Para cada fonte de poluição, devem ser identificados os aspectos ambientais relevantes e os poluentes gerados, bem como apontadas medidas de prevenção ou controle ambiental apropriadas, com base na revisão bibliográfica realizada, priorizando as Melhores Técnicas Disponíveis (BAT – *Best Available Techniques*);
- Identificação da legislação ambiental associada: Uma vez identificados os aspectos e medidas de prevenção e controle ambientais, devem ser listadas as leis e normas técnicas relacionadas, sendo priorizada a legislação federal e a do Estado do Rio de Janeiro, contudo podendo ser complementada com referências internacionais, em especial nos casos em que não forem previstos padrões de lançamento de efluentes industriais e limites máximos de emissão de poluentes para atmosfera.
- Modelagem de fluxos de trabalho: a modelagem de fluxos de trabalho deve considerar as dependências identificadas entre os processos. As ferramentas escolhidas para a modelagem de mapas de processos foram os

softwares WBS Schedule Pro e Bizagi Modeler, versão 3.0.0.022, baseado em BPM (Business Process Management) (BIZAGI, 2016);

- Consolidação das informações em fluxo de análise técnica: a metodologia de pesquisa se encerra com a consolidação das informações em fluxo de análise técnica coordenado e lógico, permitindo uma abordagem ágil e padronizada para os processos produtivos em análise.

A metodologia de pesquisa acima detalhada foi utilizada como base para o desenvolvimento da Metodologia para Otimização da Análise Técnica no Licenciamento Ambiental, cujos resultados serão apresentados no Capítulo 4.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados

O desenvolvimento de metodologia para otimização da análise técnica no licenciamento ambiental ocorreu a partir da consolidação das informações disponíveis em literatura especializada sobre os processos produtivos, as medidas de prevenção e controle ambientais aplicáveis e as leis e normas técnicas relacionadas. Nesta seção será apresentada a metodologia obtida (item 4.1.1) e sua aplicabilidade será demonstrada para os processos de fabricação de vidro plano, cimento Portland e aço, dispostos em três estudos de caso (itens 4.1.2 a 4.1.4).

4.1.1 Metodologia para otimização da análise técnica no licenciamento ambiental

A metodologia foi projetada para contribuir com os órgãos ambientais na identificação de fontes de poluição e na avaliação da conformidade ambiental de processos industriais, de forma sistemática, coordenada e integrada.

Pretende-se, destarte, contribuir para uma melhor orientação do agente público no exercício da avaliação ambiental de empreendimentos e atividades efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes de causar degradação ambiental, fornecendo um roteiro coordenado e lógico que integre as informações técnicas relevantes para a realização de uma análise ágil e padronizada, que represente menos retrabalho e mais segurança e qualidade, contribuindo, destarte, para a melhoria do controle e da qualidade ambiental.

A metodologia enfoca as emissões para o ar, os lançamentos em água e em terra, bem como o gerenciamento de coprodutos e resíduos relacionados à fase operacional, a fim de estimular a prevenção e o controle adequado das fontes de poluição.

Os processos foram criados usando o *software* WBS Schedule Pro e Bizagi Modeler, versão 3.1.0.011, uma solução de gerenciamento de processos de negócios baseada em BPMN (*Business Process Modeling Notation*) (BIZAGI, 2016).

A seguir serão descritos os passos que compreendem a metodologia para otimização da análise técnica no licenciamento ambiental.

4.1.1.1 Passo 1 - Represente o macroprocesso

O conhecimento do processo industrial é fundamental para a compreensão dos aspectos ambientais relevantes e para a realização de uma análise ambiental completa e assertiva.

A representação do macroprocesso deve ser feita em um diagrama de blocos resumido, contendo início e fim, considerando em alto nível os principais processos, bem como suas principais entradas e saídas. Cada processo deve ser nomeado, descrito e identificado com um código exclusivo, de modo a garantir a rastreabilidade das informações ao longo da análise.

Os processos podem ser nomeados a partir da forma como as matérias-primas são transformadas em produtos. O macroprocesso mais simples consistiria em apenas um processo com uma entrada e uma saída. No entanto, as matérias-primas que constituem a entrada do processo podem precisar de algum processamento antes de alimentar o processo que os transforma no produto de interesse. Do mesmo modo, o produto obtido pode necessitar de tratamento para atender às especificações necessárias. Desta forma, um macroprocesso simples pode ser representado genericamente por três processos: processamento de matérias-primas, fabricação de produtos e processamento de produtos. Um exemplo é mostrado na Figura 3.

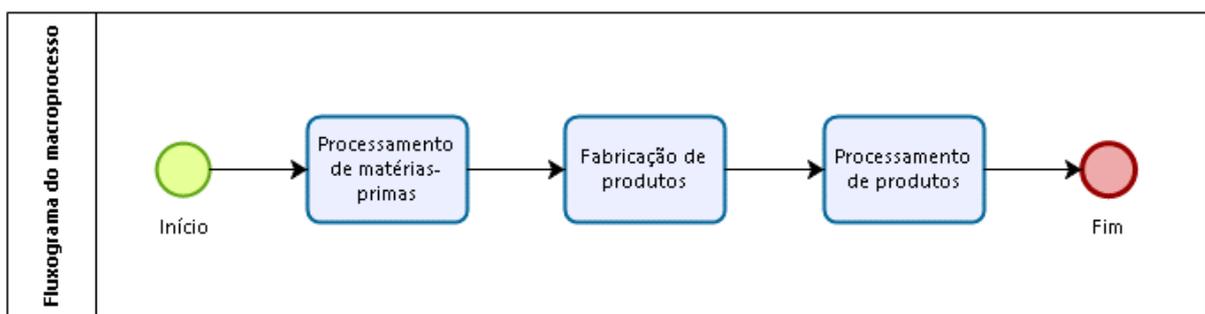


Figura 3. Fluxograma de um macroprocesso genérico com três etapas.
Fonte: elaboração própria.

Pode ocorrer, no entanto, que haja mais de um processo de tratamento de matérias-primas ou mais de uma matéria-prima que requeira tratamento. Além disso, a obtenção do produto pode ser acompanhada por um coproduto, e ambos podem precisar de um ou mais processos de tratamento.

Note-se, portanto, que a quantidade de processos varia de acordo com o tipo de produto e a forma como é obtido. Embora a metodologia seja aplicável

independentemente do número de processos, recomenda-se que um macroprocesso seja representado em um fluxograma contendo entre 3 (que corresponde a um processo para as etapas: processamento de matéria-prima, transformação de matéria-prima em produto e tratamento do produto obtido) e 9 processos (equivalente a três processos de matérias-primas, três processos de fabricação e três processos de produtos e coprodutos).

4.1.1.2 Passo 2 - Realize a decomposição hierárquica de processos

O segundo passo é definir o escopo da análise ambiental, por meio da decomposição dos processos até a identificação das fontes de poluição, a fim de evitar a falta de foco e a adoção de critérios subjetivos durante a análise ambiental.

Represente o tipo de indústria em análise em um bloco na primeira linha. Estabeleça o primeiro nível de decomposição hierárquica com base nos processos obtidos no primeiro passo, a fim de obter uma estrutura semelhante a um organograma.

Selecione um processo e realize a decomposição em processos mais simples, obtendo o segundo nível de decomposição hierárquica, e assim por diante até um nível que permita a compreensão das atividades realizadas que possam representar potenciais fontes de poluição.

Um exemplo de uma decomposição hierárquica de processo é mostrado na Figura 4. Neste exemplo, o processo principal é decomposto em três processos (P1, P2 e P3), sendo os dois primeiros processos decompostos em dois (P11 e P12) e três (P21, P22 e P23) processos, respectivamente. Um dos processos obtidos no segundo nível (P21) ainda é decomposto em dois outros processos (P211 e P212), em um terceiro nível de decomposição.

A extensão da decomposição varia de acordo com o grau de detalhe necessário para uma avaliação ambiental adequada, que pode variar de acordo com o tipo e a complexidade do processo. A subdivisão do processo em componentes menores permite uma melhor gestão das fontes de poluição ambiental, com uma definição mais clara do escopo da análise ambiental, o que contribui para uma maior agilidade e assertividade pelos órgãos ambientais.

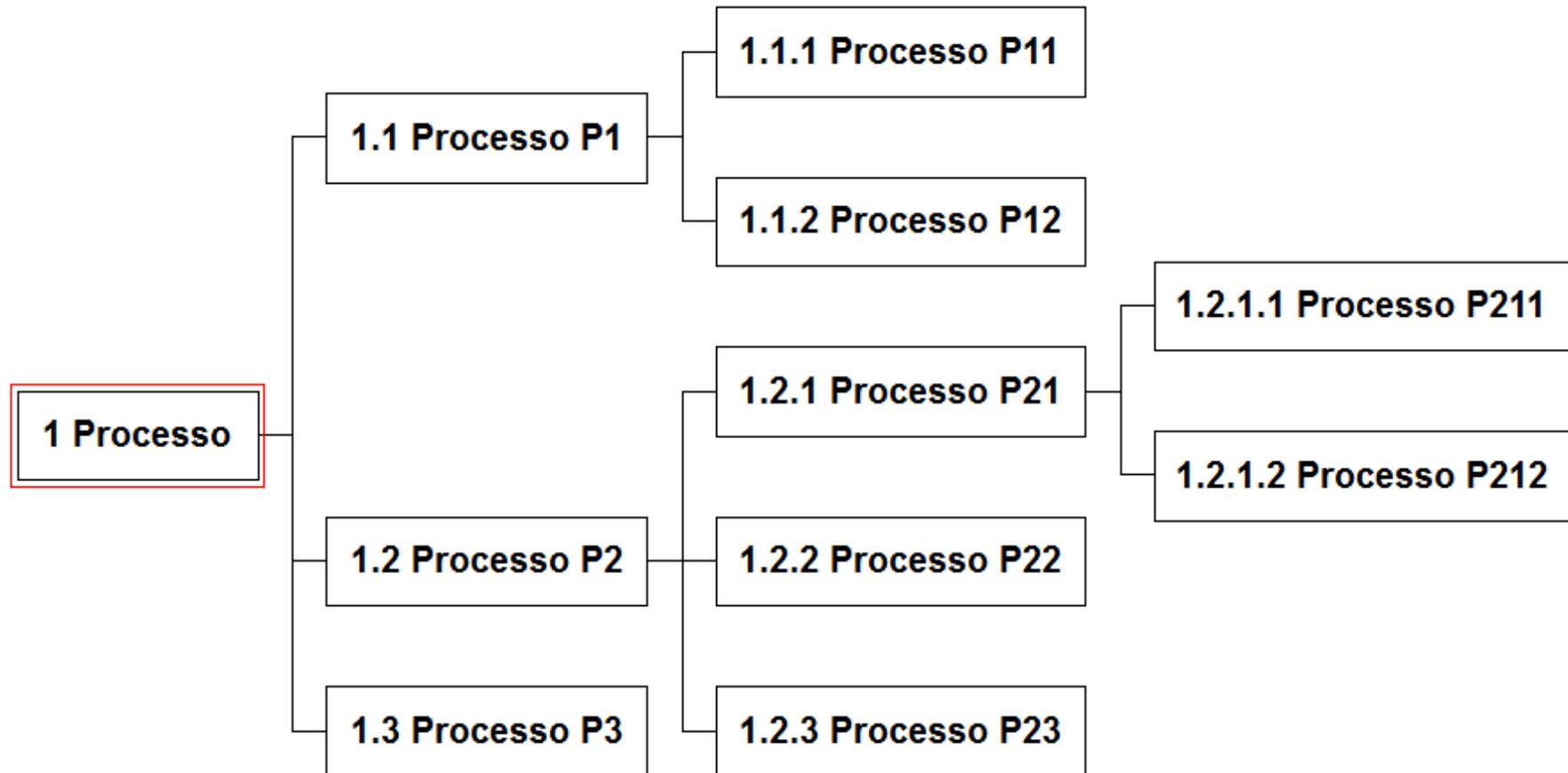


Figura 4. Exemplo de decomposição hierárquica de processo.
Fonte: elaboração própria.

A metodologia pode ser aplicada a qualquer tipo de processo e configuração, porém recomenda-se que o número de processos obtidos a partir da decomposição de um determinado nível seja pelo menos 2 e no máximo de 9 processos. Isso ocorre porque não faz sentido decompor um processo em um único processo, pois seria idêntico ao processo no nível anterior. Assim, dependendo da quantidade de níveis de decomposição, pode ser necessário decompor um processo em dois ou mais processos. Semelhante ao que foi discutido no passo 1, recomenda-se não decompor um processo em mais de 9 processos. Se esta condição for verificada, os processos devem ser agrupados e decompostos em mais um nível.

Cada processo decomposto deve ser nomeado com um substantivo, descrito e identificado com um código exclusivo, de modo a garantir a rastreabilidade das informações ao longo da análise. Os princípios de subordinação entre elementos devem ser observados, evitando nomes ambíguos e denotação de diferentes elementos com o mesmo nome para facilitar a compreensão.

Os processos podem ser nomeados a partir da forma como as atividades que o integram transformam entradas em saídas, por meio de processos físicos ou conversões químicas. Como os processos físicos ou químicos não são perfeitos, resíduos são gerados e, se o controle não for adequado, pode haver emissão para o ar e lançamentos em água ou terra além dos limites e padrões estabelecidos. Exemplos de processos físicos e de conversão química que podem representar ou conter fontes de poluição são apresentados na Tabela 2 e Tabela 3, respectivamente (SHREVE e BRINK, 2012).

Tabela 2. Exemplos de processos físicos.

Processos físicos	
Absorção de gás	Evaporação
Adsorção	Extração em fase líquida
Agregação	Filtração
Amostragem	Flotação
Britagem	Granulação
Centrifugação	Lixiviação
Clarificação	Moagem
Cristalização	Peneiração
Destilação	Separação eletrostática
Diálise	Sublimação
Difusão em fase gasosa	Trituração
Eletrodiálise	Troca iônica

Fonte: SHREVE e BRINK (2012).

Tabela 3. Exemplos de conversões químicas.

Conversões químicas		
Acilação	Combustão	Isomerização
Alcoólise	Desidratação	Neutralização
Alquilação	Diazotação e acoplamento	Nitração
Aminação por redução	Eletrólise	Oxidação
Amonólise	Esterificação	Polimerização
Aromatização ou ciclização	Fermentação	Pirólise ou craqueamento
Calcinação	Halogenação	Reações Friedel-Craft
Carboxilação	Hidrogenação, desidrogenação e hidrogenólise	Redução
Caustificação	Hidrólise e hidratação (saponificação, fusão alcalina)	Sulfonação

Fonte: SHREVE e BRINK (2012).

4.1.1.3 Passo 3 - Identifique as fontes de poluição

Selecione um processo no último nível de decomposição hierárquica e identifique se há fontes de poluição com: (i) emissões para o ar (fonte pontual ou emissões fugitivas); (ii) lançamentos em água (águas superficiais (por exemplo, lagos, rios, barragens e estuários), águas costeiras ou marinhas e águas pluviais); (iii) lançamentos em terra (resíduos sólidos, lodos, sedimentos, derramamentos e vazamentos de atividades de processamento e de armazenamento e distribuição de matérias-primas e produtos); e/ou (iv) geração de resíduos. Cada fonte deve ser identificada com um código único, de modo a garantir a rastreabilidade das informações ao longo da análise.

A estrutura obtida na Figura 5 é a base do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP), que será obtido no final da aplicação da metodologia.

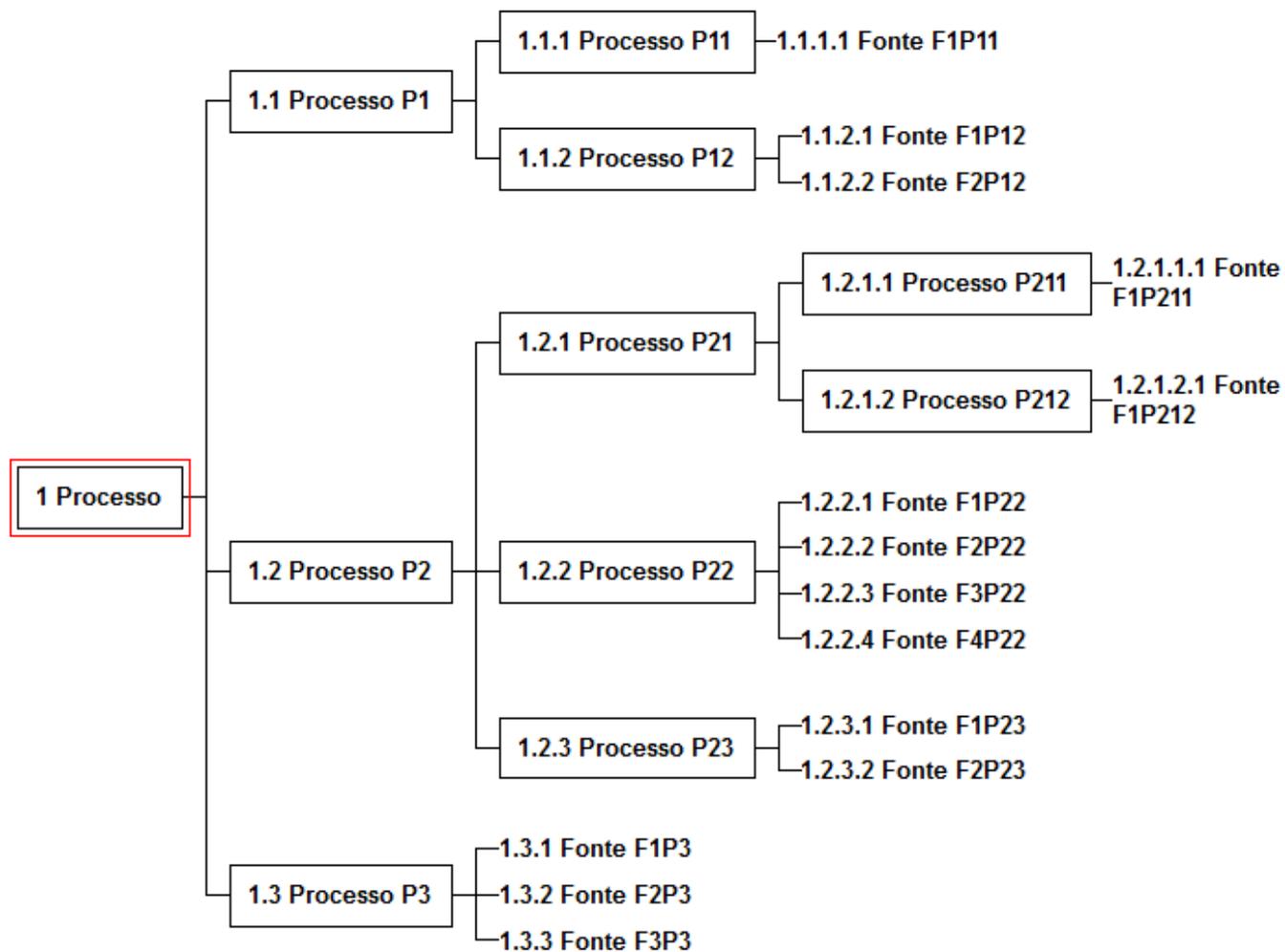


Figura 5. Estrutura preliminar do Diagrama de Fontes de Poluição.
Fonte: elaboração própria.

4.1.1.4 Passo 4 - Descreva a fonte de poluição

Selecione uma das fontes de poluição identificadas na etapa 3 e indique o(s) relacionado(s):

- (i) aspecto ambiental;
- (ii) poluentes gerados;
- (iii) medidas de prevenção de poluentes e seu desempenho;
- (iv) equipamento/sistema ou medidas adotadas de controle de poluição e seu desempenho e geração de resíduos associada;
- (v) método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental e seu desempenho e resultados.

Também devem ser indicadas informações relacionadas ao gerenciamento de resíduos: identificação de resíduos e sua quantidade e tipo de transferência:

- (i) reciclagem e recuperação de energia: recuperação de solventes, substâncias orgânicas, metais e compostos metálicos, materiais inorgânicos, ácidos ou bases, catalisadores, resíduos do sistema de controle de poluição ou refino ou reutilização de óleo usado;
- (ii) tratamento antes da eliminação final: tratamento físico, químico, biológico ou térmico ou tratamento em estações de tratamento de esgoto municipais;
- (iii) disposição: aterros sanitários, aplicação em solo, injeção subterrânea, armazenamento fora do local antes da disposição final e resíduos e rejeitos de mineração.

Exemplos de equipamento/sistema de controle de poluição do ar e das águas são mostrados na Figura 6 e Figura 7, respectivamente.

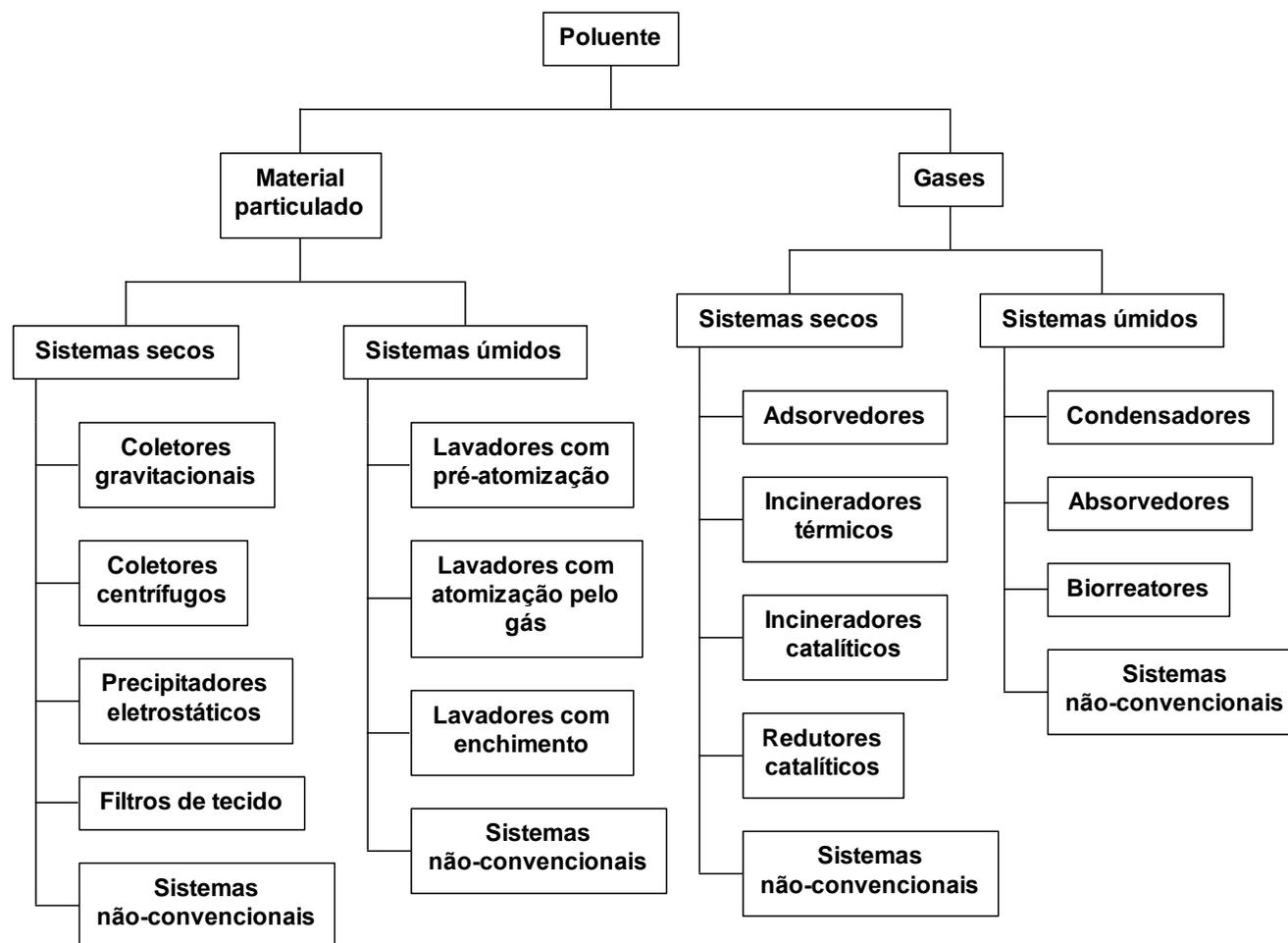


Figura 6. Equipamentos de controle de poluição do ar.

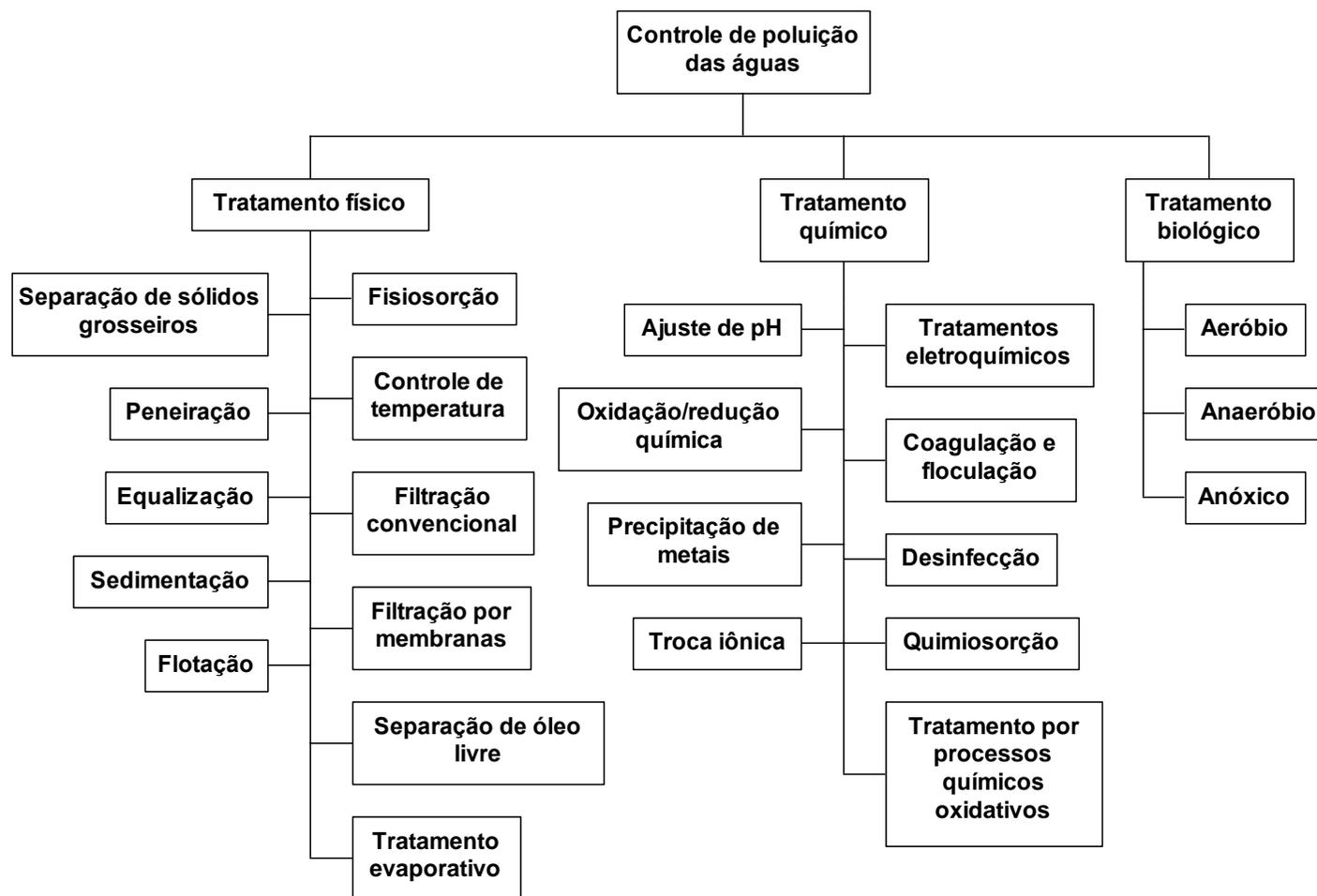


Figura 7. Equipamentos de controle de poluição das águas.

4.1.1.5 Passo 5 - Avalie o monitoramento e controle ambiental

Avalie o desempenho operacional do equipamento/sistema de monitoramento e controle ambiental e registre os valores de emissão de poluentes para o ambiente. Modelos, planilhas e informações do fabricante do equipamento podem fornecer informações úteis para avaliar se os equipamentos de monitoramento e controle funcionam corretamente.

4.1.1.6 Passo 6 - Avalie a conformidade da fonte de poluição

Compare os resultados com os requisitos legais aplicáveis e avalie o status de conformidade ambiental da fonte de poluição.

A Figura 8 mostra o detalhe de uma fonte de poluição (S1P11) com a informação obtida nas etapas 3, 4 e 5.

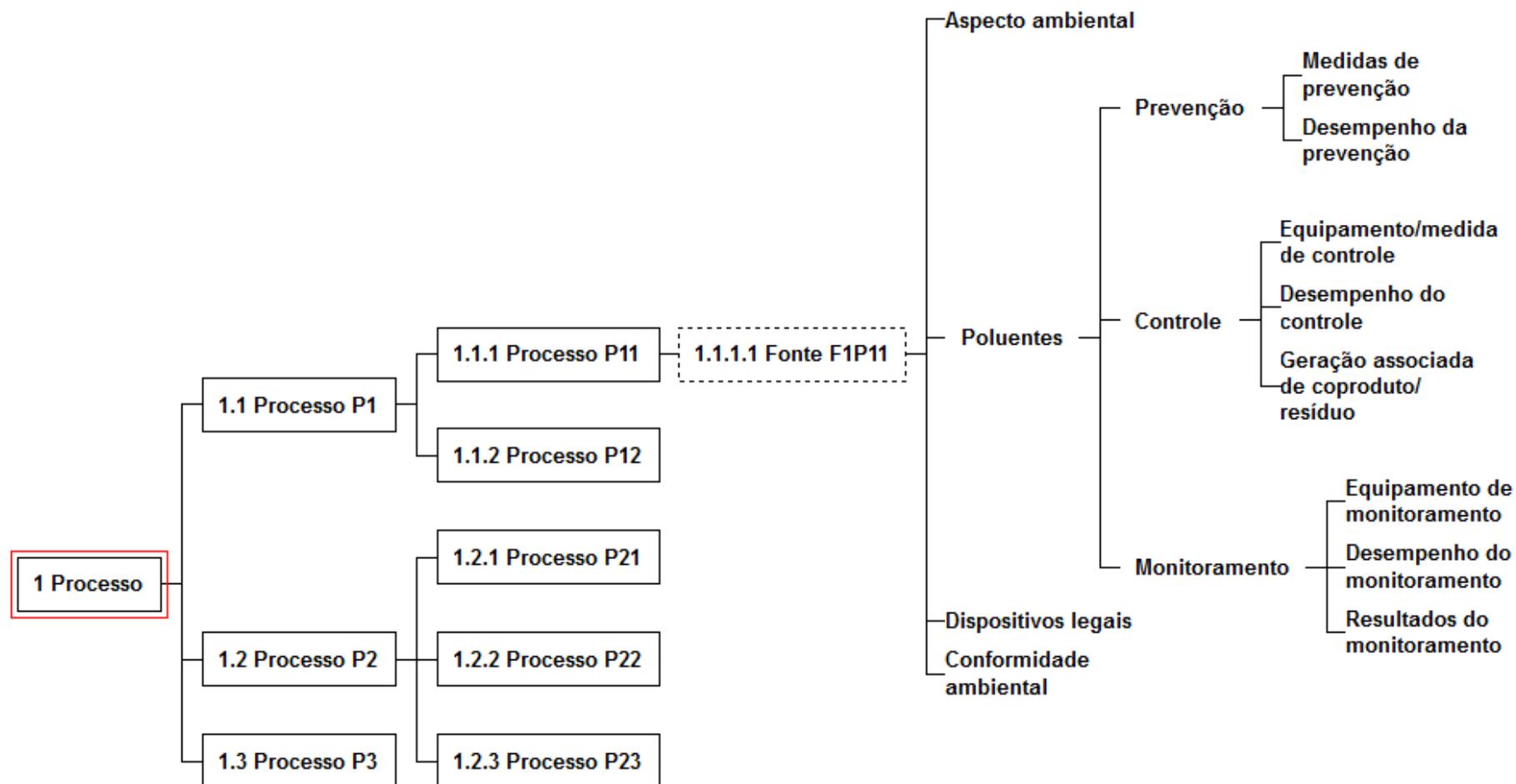


Figura 8. Exemplo de Diagrama de Fontes de Poluição destacando uma fonte específica.
Fonte: elaboração própria.

Se houver outra fonte de poluição contida no mesmo processo, retorne para o passo 4; Caso contrário, retorne para o passo 3. Repita esse procedimento até que todos os processos com o mais alto nível de detalhamento sejam considerados na decomposição hierárquica.

4.1.1.7 Passo 7 - Consolidar o Diagrama de Fontes de Poluição (DFP)

Consolide o diagrama na ordem inversa da decomposição do processo, integrando dados:

(i) relacionados aos poluentes emitidos para o ar ou lançados em água ou terra e relacionados aos resíduos gerados em cada processo obtido no passo 2. Compare com o balanço de massa global e identifique se existem desvios que podem indicar problemas no controle ou monitoramento das fontes poluição. A precisão dos dados coletados deve ser observada; e

(ii) relacionados ao estado de conformidade ambiental de cada etapa do macroprocesso, indicando as medidas aplicáveis em caso de descumprimento.

Como resultado da aplicação da metodologia é obtida a versão final do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP), com todas as informações relevantes para o processo de tomada de decisão consolidado em uma única página.

4.1.2 Estudo de Caso 1: Aplicação da Metodologia ao processo de fabricação de vidro

O vidro é uma substância utilizada desde cerca de 3000 a 2000 a.C. (MACFARLANE e MARTIN, 2004), feita principalmente a partir de óxidos (por exemplo, SiO_2 , Na_2O , CaO), que pode ser comparado a um estado sólido, mas que possui as propriedades de um líquido altamente viscoso, não exibindo nem estrutura cristalina nem um ponto de fusão distinto (SHREVE e BRINK, 2012, p. 159-175).

Uma das aplicações importantes do vidro ocorre na indústria de construção e automotiva, sob a forma de vidro plano, que é preparado a partir de uma formulação específica chamada soda-cal. Os dois processos de fabricação para produzir vidro plano são vidro por flutuação (*float glass*) e laminação (*rolled glass*). Devido a sua importância e prevalência (EUROPEAN UNION, 2013a), neste trabalho será considerado o processo de vidro por flutuação, devendo ser a ele relacionadas as referências a vidro plano.

O processo de fabricação de vidro por flutuação foi inventado por Sir Alastair Pilkington em 1952 (PILKINGTON, 1969). Atualmente, uma planta de vidro por flutuação pode produzir cerca de 6.000 km de vidro por ano, o que equivale ao raio da Terra (PILKINGTON INC., 2016).

O processo consiste basicamente no recebimento e preparo de matérias-primas e combustíveis, fusão, conformação em banho de flutuação, revestimento, recozimento e acabamento, que serão detalhados nesta seção. Uma representação esquemática do processo é apresentada na Figura 9 (ASAHI GLASS, 2013).

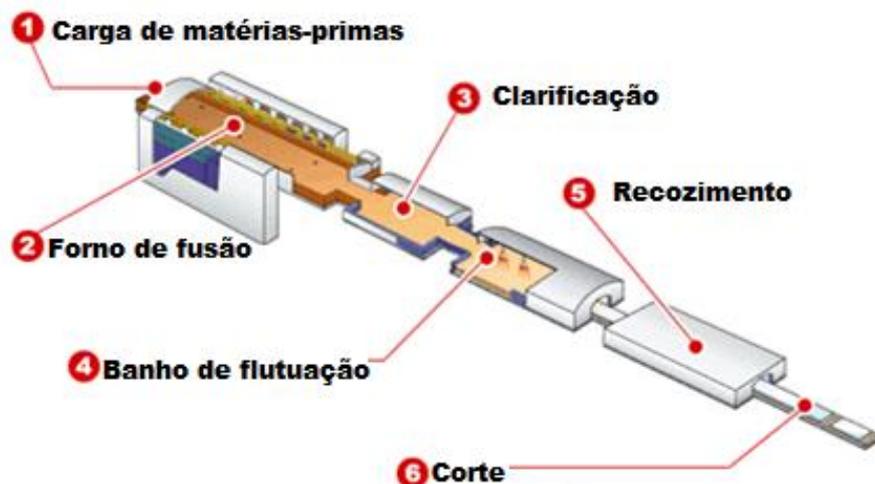


Figura 9. Representação esquemática do processo de produção de vidro por flutuação.
Fonte: Asahi Glass (2013).

A produção de vidro plano é um negócio maduro, cíclico e essencialmente de *commodities*. É uma atividade de capital intensivo, que requer recursos financeiros substanciais, investimentos de longo prazo e habilidades altamente técnicas. A cada semana, entre 350 e 400 linhas de vidro por flutuação em todo o mundo produzem cerca de 1.000.000 de toneladas de vidro. Um mapa com a localização das plantas em operação é apresentado na Figura 10 (NATIONAL GLASS ASSOCIATION E GLASS MAGAZINE, 2017).



**Figura 10. Mapa com a localização de plantas de fabricação de vidro por flutuação (float glass).
Fonte: National Glass Association e Glass Magazine (2017).**

A produção de vidro por flutuação com uma formulação básica de soda-cal, em forno regenerativo cruzado, foi escolhida neste trabalho devido a sua predominância na produção de vidro plano (EUROPEAN UNION, 2013a).

A metodologia de análise técnica apresentada no item 4.1.1 foi aplicada em nível de setor para a fabricação de vidro por flutuação (*float glass*), que permite a aplicação dos passos 1 a 4, sendo os resultados apresentados a seguir:

4.1.2.1 Passo 1 - Represente o macroprocesso

O macroprocesso de fabricação de vidro plano por flutuação foi representado em um diagrama de blocos resumido, considerando em alto nível os principais

processos (preparação de materiais, fusão, conformação e acabamento), bem como suas entradas e saídas principais, como mostrado na Figura 11.

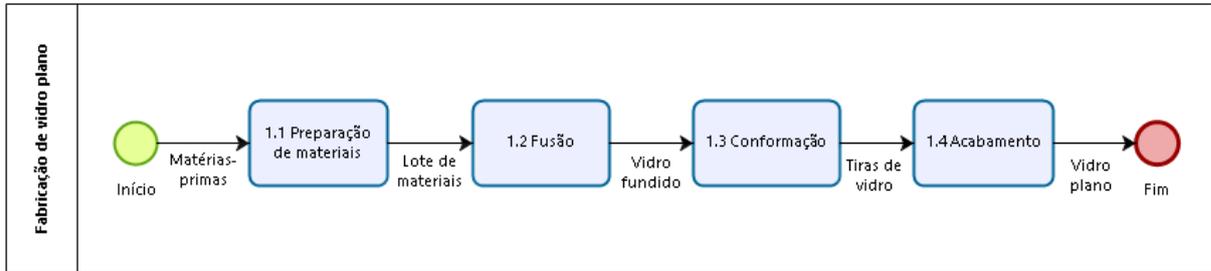


Figura 11. Macroprocesso de fabricação de vidro plano.
Fonte: elaboração própria.

Cada processo foi nomeado, descrito e identificado com um código exclusivo, para assegurar a rastreabilidade das informações ao longo da análise, como resumido na Tabela 4 (SHREVE e BRINK, 2012); (PILKINGTON INC., 2016); (EUROPEAN UNION, 2013a) e (USEPA, 1986a).

Tabela 4. Resumo dos principais processos de fabricação de vidro plano por flutuação.

ID	Nome	Descrição, entradas e saídas
1.1	Preparação de materiais	<p>Entradas: matérias-primas</p> <p>Saídas: lote de materiais, material particulado</p> <p>As matérias-primas são entregues por transporte ferroviário ou rodoviário. As matérias-primas grossas são transportadas diretamente para pilhas de estocagem ou silos, enquanto as matérias-primas granuladas e em pó são transferidas mecanicamente ou pneumaticamente para silos de armazenamento. As matérias-primas são transferidas para silos intermediários menores de onde são pesadas para formular um lote específico, que é então misturado e transportado para a área do forno.</p>

ID	Nome	Descrição, entradas e saídas
1.2	Fusão	<p>Entradas: lote de materiais, energia, cacos</p> <p>Saídas: vidro fundido, gases residuais</p> <p>O processo de fusão é uma combinação complexa de processos físicos e reações químicas, que compreende a fusão, refinação e homogeneização. Este processo entrega continuamente vidro, livre de inclusões e bolhas, ao banho de flutuação.</p>
1.3	Conformação	<p>Entradas: vidro fundido, estanho no banho de flutuação</p> <p>Saídas: tiras de vidro</p> <p>O vidro fundido é vertido sobre um banho de estanho fundido e forma uma tira com as superfícies superior e inferior ficando paralelas sob a influência da gravidade e da tensão superficial.</p>
1.4	Acabamento	<p>Entradas: tiras de vidro, combustível, água, materiais auxiliares</p> <p>Saídas: vidro plano acabado, cacos, material particulado</p> <p>O desempenho do produto pode ser melhorado aplicando revestimentos on-line. Após o banho de flutuação, a tira de vidro é direcionada ao <i>lehr</i> (um túnel com temperatura controlada), para ser recozido. Depois disso, o vidro é resfriado, inspecionado, cortado, embalado e despachado.</p>

Fonte: Elaboração própria. Adaptado de SHREVE e BRINK (2012); PILKINGTON INC. (2016); EUROPEAN UNION (2013a); e USEPA (1986).

4.1.2.2 Passo 2 - Realize a decomposição hierárquica de processos

Os principais processos de fabricação de vidro plano por flutuação obtidos no Passo 1 foram selecionados e decompostos em processos mais simples, obtendo-se um segundo nível de decomposição hierárquica, e assim por diante, até um nível que permitisse a compreensão das atividades realizadas, principalmente operações unitárias e conversões químicas, que pudessem representar potenciais fontes de poluição para o ar, a água e o solo, mesmo que as fontes de poluição não fossem conhecidas nesta fase. Os processos obtidos foram identificados, nomeados e descritos de acordo com literatura especializada sobre processos de fabricação de vidro (EUROPEAN UNION, 2013a); (SHREVE e BRINK, 2012) e (USEPA, 1986a):

4.1.2.2.1 Processo 1.1 - Preparação de materiais

Este processo foi decomposto em dois processos: preparo de matérias-primas (1.1.1) e preparo de combustível (1.1.2). Como os processos ainda eram muito abrangentes, foi aplicado um nível adicional de decomposição hierárquica. Assim, o preparo de matérias-primas foi decomposto em três processos (armazenamento de matérias-primas (1.1.1.1), processamento de matérias-primas (1.1.1.2) e transporte de matérias-primas (1.1.1.3)).

4.1.2.2.1.1 Processo 1.1.1 - Preparo das matérias-primas

O processo se inicia com o recebimento de matérias-primas, que são descarregadas e armazenadas de acordo com suas características físicas e químicas. As matérias-primas grossas são armazenadas em pilhas ou silos, enquanto as matérias-primas em pó e granuladas são armazenadas em silos e caixas. Os materiais de menor volume podem ser entregues em sacos ou barris e geralmente são alimentados por gravidade para os vasos de mistura. Deve ser dada especial atenção ao armazenamento de matérias-primas líquidas devido aos seus potenciais riscos de derramamentos e vazamentos e liberação de água e terra. Os materiais geralmente utilizados no setor de vidro plano são apresentados na Tabela 5 (EUROPEAN UNION, 2013a).

Tabela 5. Materiais utilizados no setor de vidro plano.

Descrição	Materiais
Material formador de vidro	Areia, cacos de vidro do processo, (às vezes também sucata de vidro pós-consumo)
Materiais intermediários e modificadores de vidro	Carbonato de sódio (<i>soda ash</i>), calcário, dolomita, sulfato de cálcio e gesso, síenita de nefelina, feldspato, escória de alto forno e pó de filtro
Agentes oxidantes e clarificantes do vidro	Sulfato de sódio, carbono, nitrato de sódio
Corantes de vidro	Dicromato de potássio, óxido de ferro, óxido de cobalto, óxido de cério, selênio metálico ou selenita de zinco
Processos de revestimento on-line	Compostos de silício (por exemplo, tetracloreto de silício, carbonatos de silício), ácidos fortes de halogenetos, compostos orgânicos e inorgânicos de estanho.
Combustíveis	Óleo combustível, gás natural, eletricidade e óleos combustíveis leves
Água	Abastecimento principal e fontes naturais locais (poços, rios, lagos, etc.)
Materiais auxiliares	Materiais de embalagem, incluindo plásticos, papel, papelão e madeira Lubrificantes para máquinas, predominantemente óleos minerais Gases de processo, incluindo nitrogênio, hidrogênio e dióxido de enxofre Estanho no banho de flutuação Produtos químicos para tratamento de água de resfriamento e águas residuais

Fonte: European Union (2013a).

Os materiais que contêm sílica (areia e cacos de vidro) e os carbonatos (carbonato de sódio, dolomita e calcário) representam as maiores entradas para o processo.

A areia é a matéria-prima mais importante para a fabricação de vidro e é a principal fonte de SiO_2 . No entanto, o ponto de fusão da areia é muito alto para a fusão ser economicamente viável e um agente fluxante, geralmente óxido de sódio, é necessário para reduzir a temperatura de fusão. A principal fonte de óxido de sódio é carbonato de sódio (Na_2CO_3). O sulfato de sódio é uma fonte secundária de óxido de sódio e é adicionado como agente oxidante e de clarificação. Outros óxidos metálicos, como óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO) são necessários para reforçar a rede estrutural de vidro, para melhorar sua dureza e resistência química (TOOLEY, 1984, p. 1145-1163).

A maior parte do vidro plano é produzida com uma formulação básica de soda-cal e em uma composição típica de vidro por flutuação, os óxidos de silício, sódio, cálcio e magnésio representam cerca de 98% do vidro, como mostrado na Figura 12 (EUROPEAN UNION, 2013a).

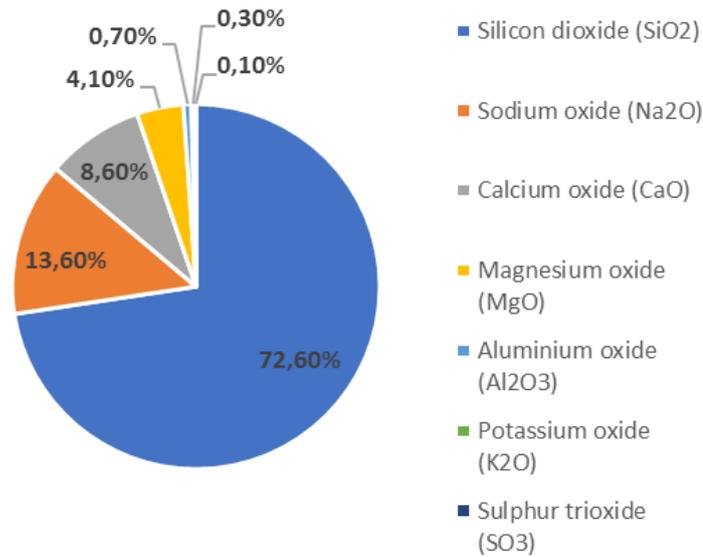


Figura 12. Composição soda-cal típica para fabricação de vidro plano
Fonte: European Union (2013a).

Após a trituração, as matérias-primas são transferidas para silos intermediários, pesadas, misturadas na proporção correta (lote) e transferidas por correias transportadoras para o silo de armazenamento de carga, de onde são transferidas para o alimentador do forno (*doghouse*). Os cacos de vidro são geralmente manuseados separadamente dos materiais do lote primário devido ao seu tamanho de partícula maior e à sua natureza abrasiva e podem ser alimentados ao forno, em quantidades medidas, por um sistema separado. Uma representação das instalações empregadas no preparo de matérias-primas é apresentada na Figura 13 (USEPA, 1986a).

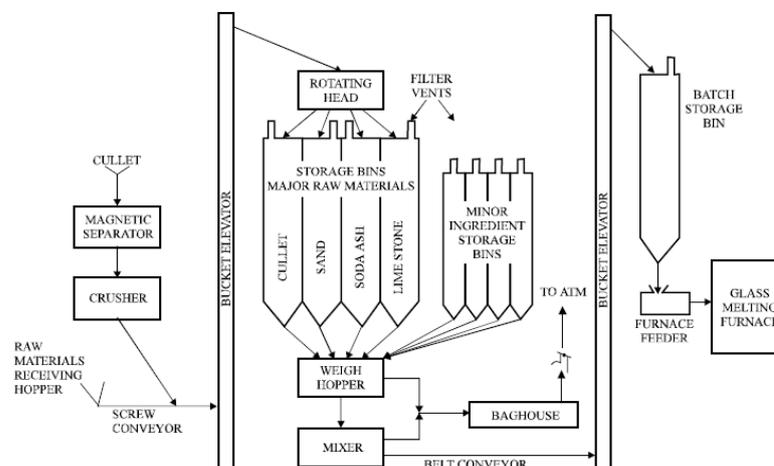


Figura 13. Diagrama geral das instalações de preparo de lote de matérias-primas
(Fonte: USEPA, 1986).

4.1.2.2.1.2 Processo 1.1.2 - Preparo dos combustíveis

Os combustíveis podem formar uma entrada significativa nos processos porque a fabricação de vidro é um processo intensivo em energia. Óleo combustível e gás natural são as fontes de energia predominantes para a fusão do vidro e têm uma influência direta nas emissões de poluentes do ar. Os combustíveis são armazenados e transferidos para o forno de vidro e para o forno de recozimento (USEPA, 1986a).

4.1.2.2.2 Processo 1.2 - Fusão

Este processo não necessitou ser decomposto, uma vez que já se encontrava em último nível de decomposição hierárquica e sua decomposição já resultava em fontes de poluição.

Como a fabricação de vidro é um processo intensivo em energia, as opções de fonte de energia, técnica de aquecimento e método de recuperação de calor são fundamentais para o projeto do forno e afetam o desempenho ambiental e a eficiência energética da operação de fusão, que compreende três componentes (EUROPEAN UNION, 2013a):

- (i) o calor de reação para formar o vidro a partir das matérias-primas (0,49 GJ/t);
- (ii) a energia necessária, entalpia, para aumentar a temperatura do vidro de 20 a 1500 ° C (1,89 GJ/t); e
- (iii) o teor de calor dos gases (principalmente CO₂) liberado do lote durante a fusão (0,30 GJ/t).

Uma imagem do interior de um forno de fusão de vidro em operação é mostrada na Figura 14 (THE LINDE GROUP, 2017).



Figura 14. Imagem do interior de um forno de fusão de vidro em operação (Fonte: The Linde Group, 2017).

Esta operação representa mais de 75% dos requisitos energéticos totais da fabricação de vidro. Um forno regenerativo moderno apresenta uma eficiência térmica global de cerca de 50% (máximo 60%), com perdas de gás residual de cerca de 30%, sendo a maioria do restante com perdas relacionadas à estrutura do forno. Os fornos de vidro plano funcionam continuamente durante 12 a 15 anos e são reconstruídos com a substituição parcial ou total da estrutura, dependendo da sua condição (EUROPEAN UNION, 2013a). Uma representação do forno regenerativo é apresentada na Figura 15.

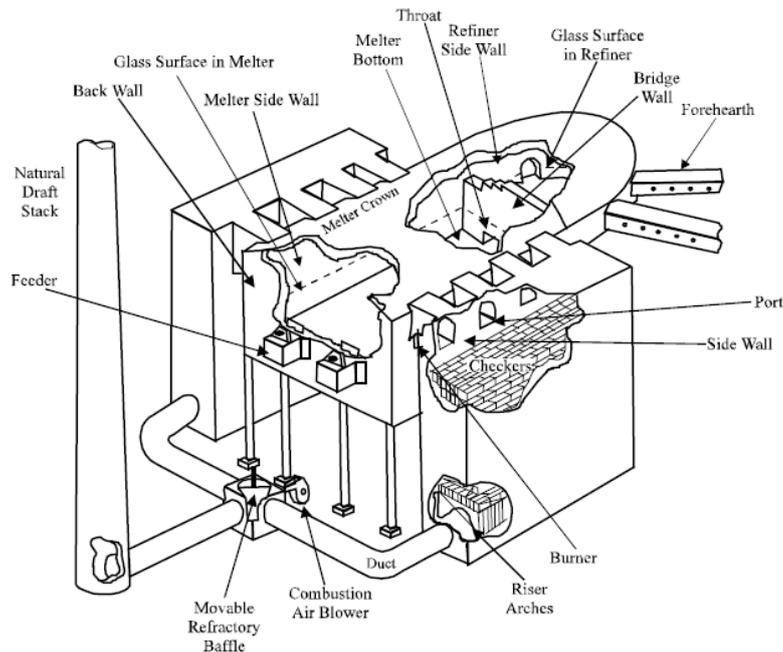


Figura 15. Forno contínuo regenerativo de porta lateral.
Fonte: USEPA (1986).

Um forno regenerativo possui duas câmaras de regeneração. Enquanto uma câmara está sendo aquecida pelos gases residuais do processo de combustão, a outra é utilizada para pré-aquecer o ar de combustão (USEPA, 1986a).

O material do lote é alimentado continuamente no forno, onde é aplicado calor acima da cobertura do lote ou das pilhas do lote e acima do vidro fundido. Na medida em que os materiais aquecem, a umidade evapora, algumas das matérias-primas se decompõem e os gases presos nas matérias-primas são liberados.

Segundo European Union (2013a), a primeira reação é a descarbonização (500 °C). Em seguida, as matérias-primas começam a fundir (750 - 1200 °C). Primeiramente, a areia começa a se dissolver sob a influência dos agentes fluxantes e a sílica da areia combina com o óxido de sódio da carbonato de sódio e com outros materiais do lote para formar silicatos.

Simultaneamente, grandes quantidades de gases escapam devido à decomposição dos hidratos, carbonatos, nitratos e sulfatos, liberando água, dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre, respectivamente. A perda de gases e a eliminação de espaços intersticiais resultam em um volume da massa fundida cerca de 35 a 50% do volume inicial das matérias-primas do lote. Finalmente, o vidro se torna transparente e a fase de fusão é completa.

A eliminação das bolhas da massa fundida é definida como o processo de (re)clarificação, consistindo de clarificação primária (crescimento de bolhas, ascensão de bolhas e remoção de gás da massa fundida) e clarificação secundária (dissolução de bolhas na massa fundida durante o resfriamento controlado).

Uma fase de condicionamento a temperaturas mais baixas segue os estágios iniciais de fusão e clarificação. Durante esta fase, todas as bolhas solúveis restantes são reabsorvidas na massa fundida, ao mesmo tempo que esta esfria lentamente até uma temperatura de trabalho entre 900 e 1350 °C.

Em fornos contínuos, as fases de fusão (primária, clarificação e condicionamento) ocorrem simultaneamente através de diferentes zonas.

A massa de vidro fundido no forno é mantida constante por um tempo de residência de 60 a 72 horas e, em seguida, flui do forno ao longo de um canal revestido com refratários para o banho de flutuação para ser conformado.

4.1.2.2.3 Processo 1.3 - Conformação

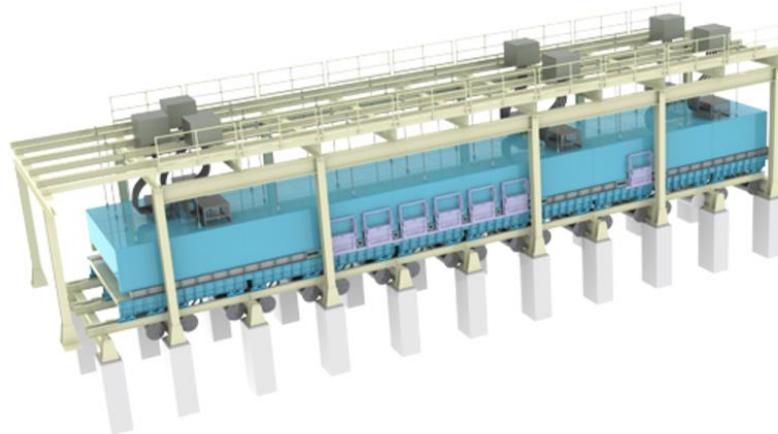
Este processo não necessitou ser decomposto, uma vez que já se encontrava em último nível de decomposição hierárquica e sua decomposição já resultava em fontes de poluição.

No estágio de conformação (ou moldagem), o vidro fundido (1000 °C) é vertido sobre um banho de estanho fundido, com cerca de 55 a 60 m de comprimento, de 4 a 10 m de largura e dividido em 15 a 20 compartimentos. O tanque é hermético e uma atmosfera ligeiramente reduzida (nitrogênio e hidrogênio) é mantida para evitar a oxidação da superfície do estanho, o que prejudicaria o contato com o vidro. O estanho fundido é escolhido para o banho porque permanece líquido na faixa de temperatura requerida e sem uma pressão de vapor significativa (EUROPEAN UNION, 2013a).

Na entrada do banho de flutuação, a temperatura é suficientemente elevada para que o vidro permaneça mole para flutuar. A superfície inferior é retificada pelo

contato com o metal, ao passo que a superfície superior escoar sob a ação da gravidade até se tornar plana. Esta técnica de manter a superfície do vidro a uma temperatura elevada até eliminar as irregularidades com o escoamento é denominada polimento a fogo (SHREVE e BRINK, 2012).

Na saída do banho de flutuação, a fita de vidro (600 °C), cuja espessura varia tipicamente de 1,5 a 19 mm, é retirada por rolos de elevação e é conduzida ao processo de acabamento. A fita de vidro resultante apresenta superfícies superiores e inferiores paralelas, espessura uniforme e planicidade quase perfeita devido à influência da gravidade e da tensão superficial (EUROPEAN UNION, 2013a). Uma representação do banho de flutuação é apresentada na Figura 16 (STEWART ENGINEERS, 2017).



**Figura 16. Representação do banho de flutuação.
Fonte: Stewart Engineers (2017).**

4.1.2.2.4 Processo 1.4 - Acabamento

Este processo não necessitou ser decomposto, uma vez que já se encontrava em último nível de decomposição hierárquica e sua decomposição já resultava em fontes de poluição.

Processos de revestimento on-line por deposição química a vapor à pressão atmosférica podem ser aplicados para melhorar o desempenho do produto (por exemplo, vidro de baixa emissividade), utilizando as seguintes matérias-primas: tetracloreto de estanho (SnCl_4), ácido fluorídrico (HF) metanol (CH_3OH) e silano (SiH_4). A fita de vidro é revestida enquanto quente pela colisão sobre a superfície de uma camada inferior à base de silício e uma camada superior de óxido de estanho dopada com flúor (PULKER e PULKER, 1999); (JONES e HITCHMAN, 2009). Na

Figura 17 é apresentada uma representação do processo de deposição química a vapor (STEWART ENGINEERS, 2014).

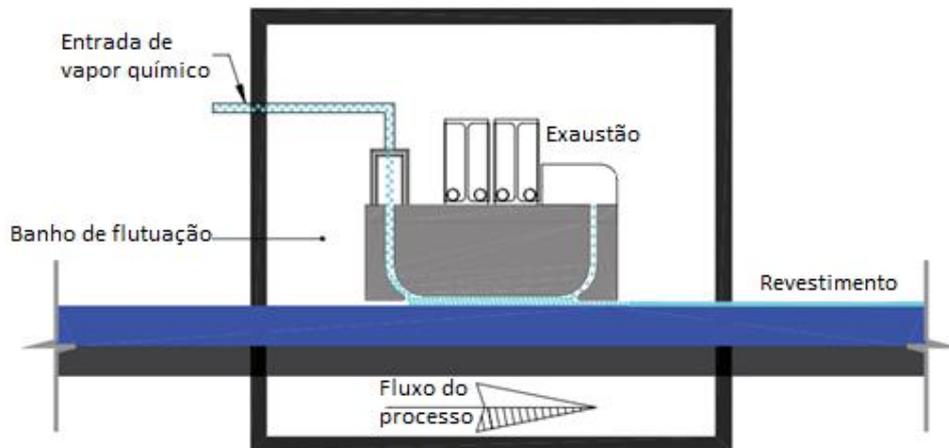


Figura 17. Representação do processo de deposição química a vapor.

Fonte: Stewart Engineers (2014).

Depois disso, o vidro passa por um forno de recozimento, que é um túnel com temperatura controlada (*lehr*). Uma imagem deste equipamento é mostrada na Figura 18 (STEWART ENGINEERS, 2017). No início do forno, dióxido de enxofre é pulverizado em ambos os lados da fita, para proteger o vidro contra o contato dos rolos. O lehr é dividido em seções em que há aquecimento e resfriamento, que pode ser indireto ou direto, por convecção forçada e natural. O vidro é gradualmente resfriado de 600 a 60 °C para reduzir a um nível aceitável os estresses residuais causados durante o processo de conformação.



Figura 18. Forno de recozimento.

Fonte: Stewart Engineers (2017).

Finalmente, a fita de vidro resfriada é cortada on-line de acordo com as dimensões especificadas. As bordas da fita que possuem marcas de rolos são cortadas e recicladas para o forno. As folhas de vidro são então inspecionadas, embaladas e despachadas (EUROPEAN UNION, 2013a).

Importante observar que, sendo essa aplicação realizada em nível de setor, e não para uma planta industrial específica, a descrição apresentada apresenta um detalhamento que pode não ser necessário ou aplicável para uma aplicação em particular, devendo ser realizadas as customizações necessárias quando esse objetivo for pretendido.

4.1.2.3 Passo 3 - Identifique as fontes de poluição

Os processos no último nível de decomposição hierárquica foram selecionados para identificar se havia fontes de poluição com: (i) emissões para o ar; (ii) lançamentos em água; (iii) lançamentos em terra; e/ou (iv) geração de resíduos. Cada fonte foi identificada com um código único, para garantir a rastreabilidade das informações ao longo da análise.

Como resultado, a estrutura do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP) foi obtida, como mostrado Figura 19. As caixas com borda contínua representam os processos, enquanto as caixas com bordas pontilhadas representam as fontes de poluição identificadas para um determinado processo no último nível de decomposição hierárquica. Foram identificadas para a fabricação de vidro plano por flutuação (*float glass*), considerando nível de abrangência setorial, 27 fontes de poluição, sendo 17 fontes referentes à preparação de materiais, 2 fontes associadas à fusão do vidro, 2 fontes ligadas à conformação e 6 fontes referentes ao acabamento.

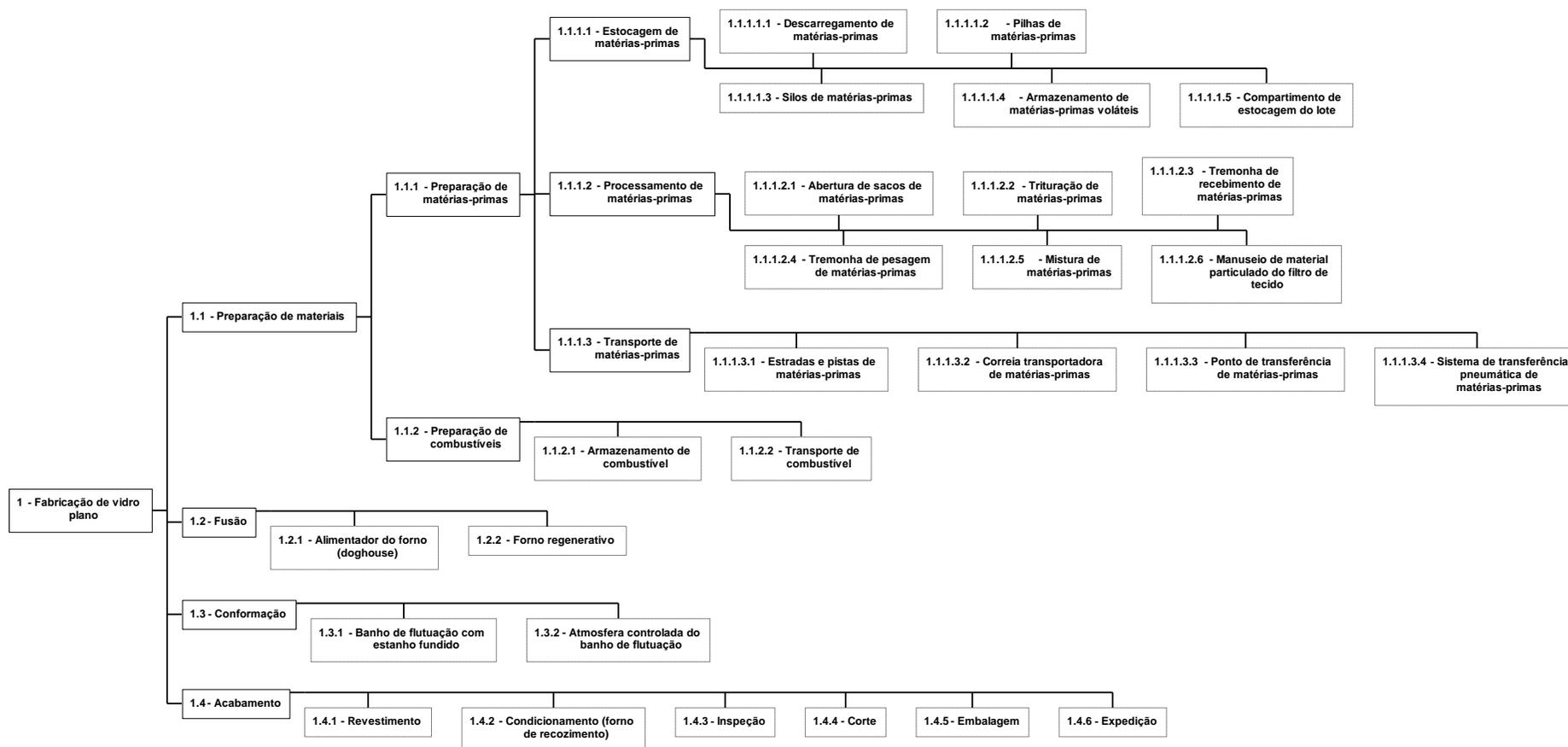


Figura 19. Estrutura preliminar do Diagrama de Fontes de Poluição para a fabricação de vidro plano.
Fonte: elaboração própria.

4.1.2.4 Passo 4 - Descreva a fonte de poluição

As fontes de poluição identificadas no Passo 3 foram agrupadas considerando critérios de similaridade e foram descritas de acordo com literatura especializada, especialmente European Union (2013a), e complementarmente Shreve e Brink (2012), Pulker e Pulker (1999), Jones e Hitchman (2009) e USEPA (1986a). Foram consideradas tanto técnicas primárias (que reduzem ou impedem a formação de poluentes) quanto técnicas secundárias (as que atuam sobre os poluentes para torná-los menos prejudiciais (por exemplo, convertendo-os para outras espécies) ou para coletá-los de uma forma que possam ser reutilizados, reciclados ou enviados para disposição final). Os resultados são apresentados a seguir:

- Fontes: 1.1.1.1.1 Descarregamento de matérias-primas, 1.1.1.1.2 Pilhas de matérias-primas e 1.1.1.3.1 Estradas e pistas de matérias-primas.
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: material particulado (MP) (emissões fugitivas).
 - Medidas de prevenção da poluição: (i) as pilhas de estocagem de materiais grosseiros pulverulentos podem ser armazenadas sob cobertura para evitar emissões por arraste eólico; (ii) o armazenamento externo de cacos de vidro é uma fonte potencial de poeira, emissões fugitivas e, eventualmente, odor decorrente de resíduos orgânicos; (iii) uso de veículos de limpeza de pistas e técnicas de aspersão de água.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: Não aplicável (N/A).
- Aspecto ambiental: lançamentos em água.
- Poluentes gerados: sólidos suspensos totais (SST) (sólidos arrastados para a rede de drenagem).
- Medidas de prevenção da poluição: enclausurar operações com geração de material particulado.
- Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: técnicas padrão de controle de poluição, se necessário (decantação, peneiramento, separadores água/óleo e neutralização).

- Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: pode ser aplicado monitoramento periódico de parâmetros como temperatura, pH e SST.
- Fontes: 1.1.1.3.2 Correia transportadora de matérias-primas e 1.1.1.3.3 Ponto de transferência de matérias-primas.
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: MP.
 - Medidas de prevenção da poluição: uso de transportadores fechados para evitar perda de material e fechamento de pontos de transferência.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: Filtro de tecido nos pontos de transferência, se necessário. Resíduo gerado: material particulado.
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: -.
- Fontes 1.1.1.1.3 Silos de matérias-primas, 1.1.1.1.5 Compartimento de estocagem do lote e 1.1.1.3.4 Sistema de transferência pneumática de matérias-primas
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: MP.
 - Medidas de prevenção da poluição: (i) armazenar materiais em pó a granel em silos fechados, equipados com sistema de despoeiramento; (ii) armazenar materiais finos em contentores fechados ou sacos selados; e (iii) quando empregado transporte pneumático, utilizar um sistema selado equipado com filtro para limpar o ar de transporte antes da sua liberação.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: Filtro de tecido (FT) (<5 mg/Nm³). Resíduo gerado: material particulado.
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: -.
- Aspecto ambiental: geração de resíduo.
- Identificação do resíduo: material particulado.

- Medidas para não geração do resíduo ou sua redução: Ver medidas de prevenção da poluição no item acima.
- Destinação do resíduo: Reciclagem do material particulado para a formulação do lote de materiais, quando os requisitos de qualidade permitirem.

- Aspecto ambiental: geração de resíduo.
- Identificação do resíduo: perdas de material.
- Medidas para não geração do resíduo ou sua redução: minimização das perdas de materiais durante o armazenamento de matérias-primas.
- Destinação do resíduo: Reciclagem para a formulação do lote de materiais, quando os requisitos de qualidade permitirem.

- Fontes 1.1.1.2.1 Abertura de sacos de matérias-primas, 1.1.1.2.2 Trituração de matérias-primas, 1.1.1.2.3 Tremonha de recebimento de matérias-primas, 1.1.1.2.4 Tremonha de pesagem de matérias-primas, 1.1.1.2.5 Mistura de matérias-primas, 1.1.1.2.6 Manuseio de material particulado do filtro de tecido e 1.2.1 Alimentador do forno (*doghouse*).
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: MP.
 - Medidas de prevenção da poluição: umidificação do lote de materiais e limpeza a vácuo móvel e estacionária.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: FT (<5 mg/Nm³); resíduo gerado: material particulado.
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: -.

 - Aspecto ambiental: geração de resíduo.
 - Identificação do resíduo: material particulado.
 - Medidas para não geração do resíduo ou sua redução: Ver medidas de prevenção da poluição no item acima.
 - Destinação do resíduo: Reciclagem do material particulado para a formulação do lote de materiais quando os requisitos de qualidade permitirem. O material particulado retido nos filtros atua como um substituto

de matérias-primas virgens contendo enxofre nos processos de fabricação de vidro que empregam sulfato como agente de clarificação.

- Aspecto ambiental: geração de resíduo.
 - Identificação do resíduo: perdas de material.
 - Medidas para não geração do resíduo ou sua redução: minimização de perdas de material durante o armazenamento de matérias-primas.
 - Destinação do resíduo: Reciclagem para a formulação do lote de materiais, quando os requisitos de qualidade permitirem.
- Fontes 1.1.1.1.4 Armazenamento de matérias-primas voláteis, 1.1.2.1 Armazenamento de combustível e 1.1.2.2 Transporte de combustível.
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: compostos orgânicos voláteis (COV).
 - Medidas de prevenção da poluição: (i) uso de tinta com baixa absorção solar para tanques de armazenamento a granel sujeitos a mudanças de temperatura devido ao aquecimento solar; (ii) controle da temperatura no armazenamento de matérias-primas voláteis; (iii) isolamento do tanque no armazenamento de matérias-primas voláteis; (iv) gestão de inventário; (v) uso de tanques de teto flutuante no armazenamento de grandes quantidades de produtos petrolíferos voláteis; (vi) uso de sistemas de transferência de retorno de vapor na transferência de fluidos voláteis (por exemplo, de caminhões-tanque para tanque de armazenamento), (vii) uso de tanques com *bladder roof* no armazenamento de matérias-primas líquidas; (viii) uso de válvulas de pressão/vácuo em tanques projetados para suportar flutuações de pressão; e (ix) aplicação de enchimento subsuperficial no armazenamento de líquidos que tendem a espumar.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: aplicação de tratamento de gases antes de sua liberação (por exemplo, adsorção, absorção ou condensação) no armazenamento de materiais perigosos.
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: -.

- Aspecto ambiental: lançamentos em água e em terra.
 - Poluentes gerados: óleo; demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), resultantes de derramamentos ou vazamentos no armazenamento de matérias-primas e em água de drenagem de áreas contaminadas com materiais líquidos.
 - Medidas de prevenção da poluição: (i) minimização de derramamentos e vazamentos; (ii) provisão de contenção de tamanho adequado; (iii) inspeção/teste de tanques e contenções para garantir integridade; (iv) proteção contra enchimento (válvulas de corte, alarmes etc.); e (v) posicionamento de aberturas de ventilação e pontos de enchimento dentro de contenção.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: separadores de óleo e, se necessário, tratamento físico/químico.
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: monitoramento periódico de parâmetros como temperatura, pH e sólidos suspensos totais (SST) pode ser adotado.
- Fonte 1.2.2 Forno regenerativo (EUROPEAN UNION, 2013a):
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: os principais poluentes ambientais decorrentes da fusão são: os produtos da combustão de combustíveis fósseis e da oxidação a alta temperatura do nitrogênio na atmosfera de combustão (ou seja, dióxido de enxofre, dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio); material particulado resultante principalmente da volatilização e subsequente condensação de materiais voláteis do lote de carga; e gases emitidos a partir das matérias-primas durante os processos de fusão. Mais especificamente, os poluentes são:
 - (i) Material particulado (MP): as principais fontes de PM no forno de fusão são: (a) volatilização de componentes do vidro fundido e posterior condensação em partículas de poeira submicrométricas; (b) arraste de materiais finos do lote de matérias-primas; e (c) produto da combustão de combustíveis fósseis. O principal constituinte do material particulado na produção de vidro de soda-cal é o sulfato de sódio (até 95%) com uma

temperatura de formação a 800 °C. O sulfato de sódio não é considerado perigoso, no entanto, a emissão de partículas com um diâmetro inferior a 10 micrômetros (PM10) e 2,5 micrômetros (PM2.5) apresenta potencial para causar problemas de saúde e danos ambientais.

(ii) Óxidos de nitrogênio (NO_x): inclui o óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) e é expresso como equivalente de NO₂. As três principais fontes de emissão de NO_x são matérias-primas, combustível e NO_x térmico. Uma quarta fonte, a NO_x imediato, da reação do nitrogênio por uma rota complexa com radicais de hidrocarbonetos de curta duração, é relativamente insignificante.

A decomposição de compostos de nitrogênio nos materiais de lote leva à geração de NO_x, bem como a oxidação do nitrogênio contido nos combustíveis, mas a contribuição global é baixa em comparação com o NO_x térmico, que é formado devido às temperaturas elevadas nos fornos de vidro (até 1650 °C e até 2500 °C na chama). O NO_x térmico decorre da oxidação do nitrogênio na atmosfera de combustão a temperaturas acima de 1300 °C. As principais fontes de nitrogênio são o ar de combustão, o ar de atomização (em fornos a óleo), o teor de nitrogênio no gás natural (no caso de combustão de oxcombustível) e entrada de ar no forno. A espécie predominante é o NO (90-95%), formado pela reação entre N₂ e O₂.

(iii) Óxidos de enxofre (SO_x): incluem o dióxido de enxofre e o trióxido de enxofre (SO₃) e é expresso como equivalente de SO₂. As duas principais fontes de emissão de óxidos de enxofre são a oxidação do enxofre contido nos combustíveis (em processos com queima de óleo combustível) e a decomposição/oxidação de compostos de enxofre no lote de carga (por exemplo, sulfatos). Intervalos típicos de emissões de SO_x (como SO₂) de fornos de vidro que utilizam formulação soda-cal, com óleo combustível (1% de enxofre) e gás natural, sem a aplicação de medidas secundárias, são, respectivamente, 1200 – 1800 e 300 – 1000 mg/Nm³.

(iv) HCl e HF: emissões ocorrem devido à presença intencional (qualidade desejada do produto) ou não intencional (impurezas) dessas substâncias nos materiais do lote de carga (sucata de vidro externa, carbonato de sódio sintético, dolomita, sucata de vidro pós-consumo, plásticos na

sucata externa para reciclagem e material particulado reciclado dos sistemas de controle de poluição do ar.

(v) Metais (por exemplo, V, Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As, Cd): apresentam-se como impurezas menores em algumas matérias-primas, sucata de vidro pós-consumo e combustíveis.

(vi) Dióxido de carbono (CO_2): as principais fontes são a combustão de combustíveis fósseis e a decomposição de carbonatos nos materiais do lote (por exemplo, carbonato de sódio e calcário). As emissões de CO_2 dependem fortemente da eficiência energética do processo de fusão e podem variar significativamente quando técnicas primárias ou secundárias são aplicadas para o controle de outros poluentes. Um fato interessante é, no entanto, que a redução das emissões de CO_2 alcançadas, durante a vida útil do vidro, com o uso de produtos de vidro com eficiência energética supera, de longe, aqueles criados na fabricação do vidro.

(vii) Monóxido de carbono (CO): produto da combustão incompleta. Raramente é emitido por instalações da indústria do vidro em um nível que causa preocupação ambiental.

- Medidas de prevenção da poluição:

(i) MP: (a) aplicação de uma pressão ligeiramente negativa dentro do forno; (b) uma percentagem de água pode ser mantida no lote, geralmente 0 a 4%, para reduzir a emissão de MP durante o transporte e o arraste de partículas finas para fora do forno; (c) modificações de matérias-primas, com o escopo de redução de componentes voláteis; (d) redução de temperatura na superfície de fusão, porque espécies mais voláteis são geradas a temperaturas mais elevadas; (e) posicionamento do queimador, porque uma alta velocidade de gás ou um alto nível de turbulência na superfície da massa fundida aumentam a taxa de volatilização; (f) conversão para queima de gás ou óleos com concentração de enxofre muito baixa; e (g) realizar um monitoramento constante dos parâmetros operacionais e uma manutenção programada do forno de fusão, com o objetivo de minimizar os efeitos de envelhecimento no forno (selando os blocos do forno e do queimador, mantendo máximo isolamento,

controlando as condições de chama estabilizada, controlando a relação ar/ combustível etc.).

(ii) NO_x : A redução do NO_x térmico é resultado de uma combinação de fatores, mas principalmente, temperaturas mais baixas e níveis reduzidos de ar de combustão. As principais técnicas para minimizar o NO_x térmico são:

(a) Modificações da combustão: redução da relação ar/combustível para níveis próximos ao estequiométrico; combustão em estágios: se o combustível e o ar/ oxigênio forem injetados no mesmo local no queimador, é produzida uma chama com uma zona primária oxidante quente perto da porta, associada à maioria do NO_x produzido, e a uma zona secundária mais fria mais longe; recirculação dos gases de combustão: o gás residual do forno pode ser reinjetado na chama para reduzir o teor de oxigênio e, portanto, a temperatura e a formação de NO_x ; escolha de combustível: a experiência geral na indústria do vidro é que os fornos a gás resultam em maiores emissões de NO_x do que os fornos a óleo. Em geral, quando se utiliza o óleo combustível em vez do gás natural, observa-se uma economia de consumo de energia de cerca de 5%, porque as chamas de gás têm uma emissividade térmica menor do que as chamas de óleo combustível, exigindo temperaturas de chama mais altas para permitir a mesma transferência de calor para a fusão do vidro e assim condições mais favoráveis para a formação de NO_x .

Outra técnica difundida é o uso de queimadores de baixa emissão de NO_x (*low- NO_x*), que são sistemas de queimadores projetados para minimizar a formação de NO_x . As características-chave dos sistemas de queimadores de baixa emissão de NO_x são:

- Mistura mais lenta de combustível e ar para reduzir as temperaturas máximas da chama (formação de chama);
- Velocidades mínimas de injeção que ainda permitem a combustão completa (combustão retardada, mas completa);

- Aumento da emissividade (radiação) da chama, com otimização da transferência de calor para a fusão de vidro. Portanto, um nível de temperatura mais baixo ainda pode fornecer a energia necessária para a fusão devido à alta luminosidade da chama (emissão efetiva de calor);
- Diferentes bocais e projetos de bicos permitem gerar múltiplos jatos de combustível por queimador;
- Combustão completa com a relação mínima de ar/combustível.

A redução da temperatura do ar de combustão às vezes é apontada como uma técnica para controlar as emissões para o ar das atividades de fusão. No entanto, a temperatura de pré-aquecimento inferior resulta em uma menor eficiência do forno, menor eficiência de combustível e, portanto, maior demanda de combustível e emissões potencialmente maiores (kg/tonelada de vidro) de NO_x , CO_2 , SO_2 , MP etc. Assim, em geral, é improvável que esta técnica apresente benefício ambiental ou econômico.

(b) Processo FENIX: baseia-se na combinação de muitas técnicas primárias para a otimização da combustão em fornos regenerativos com chama cruzada. As principais características são: redução do excesso de ar; supressão de *hotspots* e homogeneização das temperaturas da chama; e mistura controlada de combustível e ar de combustão, sem dar origem a problemas de qualidade de vidro ou emissões de monóxido de carbono. Níveis de emissão associados para NO_x em forno de fusão de vidro plano considerando modificações de combustão e o processo de Fenix são 700 - 800 mg/ Nm^3 e 1,75 - 2,0 kg/tonelada de vidro fundido.

(c) Fusão oxi-combustível: envolve a substituição do ar de combustão por oxigênio (> 90% de pureza). A técnica pode ser usada com gás natural (mais comum) ou óleo como combustível. Os níveis de emissões associados são <1,25 - 2,0 kg/tonelada de vidro fundido. O custo estimado para a remoção de NO_x é entre 3 e 5 euros por kg de NO_x removido.

(iii) SO_x : as principais técnicas para minimizar esse poluente são: (a) uso de combustíveis com baixo teor de enxofre. Entretanto, a conversão para um combustível com menor teor de enxofre geralmente resulta em aumento de custos devido ao maior preço do combustível; e (b) minimização do teor de enxofre na formulação do lote e otimização do balanço de enxofre. Os sulfatos são usados como agentes de clarificação

e oxidação. O sulfato de sódio, o sulfato mais comum usado, durante os processos de fusão e acabamento, se dissocia para dar SO_2 , O_2 e Na_2O gasosos que são incorporados no vidro. Deve ser notado que uma redução excessiva da quantidade de enxofre, por outro lado, pode gerar produtos de vidro com problemas de qualidade. As emissões típicas associadas aos agentes de clarificação e oxidação são de 200 a 800 mg/Nm^3 e 0,2 a 1,8 kg por tonelada de vidro fundido.

(iv) HCl e HF: as principais técnicas para minimizar esses poluentes são: (a) seleção de matérias-primas para a formulação do lote com baixo teor de cloro e flúor, a fim de reduzir as emissões da decomposição desses materiais durante o processo de fusão; (b) minimização dos compostos de flúor e/ou cloro na formulação do lote e otimização do balanço de massa de flúor e/ou cloro.

(v) Metais: Seleção de matérias-primas para a formulação do lote com baixo teor de metais, a fim de reduzir as emissões de metais durante o processo de fusão.

(vi) CO_2 : as emissões de CO_2 dependem fortemente da eficiência energética do processo de fusão. Para reduzir o consumo específico de energia, pode-se adotar uma ou uma combinação das seguintes técnicas: (a) otimização do processo, através do controle dos parâmetros operacionais; (b) manutenção regular do forno de fusão; (c) otimização do projeto do forno e seleção da técnica de fusão; (d) aplicação de técnicas de controle de combustão; (e) uso de níveis crescentes de sucata de vidro, quando disponível e técnica e economicamente viável; (f) uso de uma caldeira de calor residual para recuperação de energia, onde técnica e economicamente viável; e (g) uso do pré-aquecimento do lote e dos cacos de vidro, onde técnica e economicamente viável

(vii) CO: As principais técnicas para minimizar este poluente são: (a) manutenção regular do forno de fusão; e (b) aplicação de técnicas de controle de combustão.

- Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada:
 - (i) MP: precipitador eletrostático (PE) e filtro de tecido (FT):

(a) PE: em fornos regenerativos, a temperatura dos gases residuais geralmente é de cerca de 400 °C e o resfriamento não é geralmente necessário para condensar voláteis ou para atingir os limites de operação ESP. No setor de vidro plano, as emissões de material particulado associadas ao uso de um ESP, combinadas com um sistema lavador de gases ácidos, estão na faixa de $10-20 \text{ mg/Nm}^3$ e $0,025$ a $0,05$ kg/tonelada de vidro fundido. Os custos específicos podem variar entre EUR 3,9 e 4,8 por tonelada de vidro fundido, quando o material particulado do filtro é completamente reciclado ao forno, e cerca de 1,5 a 2 euros mais caro, no caso de disposição total do material particulado do filtro. Os custos específicos por kg de poluente removido podem variar entre 9 e 15 euros por kg de MP removido e entre 0,45 e 0,7 por kg de SO_2 removido, dependendo da capacidade do forno e das condições de operação.

(b) FT: os sistemas de filtro de mangas não representam a melhor opção para fornos de vidro por flutuação por alguns motivos: o controle da pressão no forno é fundamental para garantir a alta qualidade do vidro e o FT está associado à alta queda de pressão, sendo muito difícil para operar; há dificuldades para condicionar o gás de combustão a baixas temperaturas necessárias para filtros de mangas; baixas temperaturas de operação não são adequadas para as condições operacionais do catalisador, quando é utilizada a redução catalítica seletiva (SCR); Para grandes volumes de gás, os custos específicos dos filtros de mangas combinados com um estágio de lavador de gases seco são comparáveis ou mesmo superiores a um PE mais um sistema de lavador de gases; pode ser necessário instalar um estágio de lavador de gases a montante do filtro, para evitar a condensação ácida e a danificação dos materiais das mangas, se os gases de combustão contiverem espécies ácidas (por exemplo, fornos a óleo).

(ii) NO_x : redução química por combustível (CRF) ou redução catalítica seletiva (SCR):

(a) CRF: nestas técnicas, o combustível (por exemplo, gás natural ou óleo) é adicionado à corrente de gás residual para reduzir quimicamente NO_x a N_2 . O combustível piroliza para formar radicais que reagem com os componentes do gás de combustão para formar H_2O e N_2 . A principal

técnica de CRF na indústria do vidro é o processo 3R (reação e redução em regeneradores), que é restrito a fornos regenerativos. Existem dois estágios principais envolvidos no processo 3R: deNOX e extinção. No estágio deNOX existem dois mecanismos principais; o primeiro envolvendo a reação entre radicais e NO e o segundo mecanismo ocorrendo na medida em que os gases residuais passam através do verificador de regeneração, onde o CO e o H₂ reduzem a maioria do NO restante para N₂. A segunda etapa envolve a extinção de espécies reduzidas (principalmente CO e H₂ não reagidos). Essas espécies são oxidadas pelo fornecimento controlado de ar nos gases de combustão abaixo do regenerador. Os níveis de emissão alcançados com a aplicação de 3R em fornos regenerativos de vidro por flutuação estão na faixa de 1,0 a 1,5 kg/tonelada de vidro fundido. Uma redução global de NO_x de cerca de 70 a 85%, tais como níveis de concentração de emissão de NO_x até 500 mg/Nm³ (com 8% de volume seco de O₂) ou menor, pode ser alcançada. Os custos de redução de emissões são de 1,4 a 1,8 por kg de NO_x removido.

(b) SCR: envolve a reação de NO_x com amônia em um leito catalítico à temperatura apropriada. A amônia é injetada a montante do catalisador, tanto como NH₃ líquida quanto como solução aquosa. O uso de uma camada dupla de catalisador melhora a eficiência de remoção de NO_x e diminui a perda de amônia. Os catalisadores mais comuns são V₂O₅ (pentóxido de vanádio) e TiO₂ (dióxido de titânio) impregnados sobre um substrato metálico ou cerâmico. Peneiros moleculares de zeólita também podem ser usadas. Essas reações normalmente ocorrem em torno de 950 °C, mas a presença do catalisador diminui a temperatura absorvendo NH₃ que reage com o NO da fase gasosa. É muito importante manter a temperatura correta de operação (200 - 500 °C, sendo a faixa ótima 300 - 450 °C). O SCR requer uma concentração de MP abaixo de 10-15 mg/Nm³ e um sistema de dessulfurização para remoção de SO_x. Devido à janela de temperatura operacional ideal, a aplicabilidade é limitada ao uso de precipitadores eletrostáticos. Os níveis de emissão associados estão na faixa de 400 a 500 mg/Nm³ para NO_x. Os custos de produção adicionais típicos para o vidro plano por flutuação são cerca de 2,5 euros/tonelada

de vidro fundido e os custos específicos de redução de emissões são de aproximadamente 0,7 a 0,9 euros por kg de NO_x removido. Resíduos são gerados quando o catalisador deve ser renovado, após sua vida útil, geralmente em torno de 4 a 5 anos.

(iii) SO₂: lavador seco ou semi-seco usando hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), carbonato de sódio (Na₂CO₃) ou bicarbonato de sódio (NaHCO₃) em combinação com PE. No processo seco, o material reativo (absorvente) é injetado como pó fino (com uma área superficial específica de até 40 m²/g) e disperso na corrente de gás residual e reage com SO_x para formar um sólido. O processo de lavagem mais comum usado na indústria do vidro é o processo seco com um PE usando hidróxido de cálcio como absorvente, porque atinge uma boa taxa de redução a uma temperatura de 400 °C, o que pode ser alcançada no gás residual sem resfriamento e está dentro da faixa operacional de um precipitador eletrostático. É importante notar que os absorventes escolhidos para remover SO_x também são eficazes na remoção de outros gases ácidos, particularmente os haletos (HCl e HF). No processo semi-seco, o absorvente (geralmente Na₂CO₃, CaO ou Ca(OH)₂) é adicionado como uma suspensão ou solução e a evaporação da água resfria a corrente de gás.

Em geral, a taxa de redução depende fortemente dos seguintes parâmetros: tipo de lavador; composição do gás de combustão; temperatura do gás de combustão; umidade do gás de combustão; razão molar do agente de absorção/gases ácidos; sistema de filtração; e tipo de reagente.

Os níveis de emissão associados considerando técnicas de redução secundária são: <300 - 500 mg/Nm³ e <0,75 - 1,25 kg/tonelada de vidro fundido (gás natural); e 500 - 1300 mg/Nm³ e 1,25 - 3,25 kg/tonelada de vidro fundido (óleo combustível com teor de 1% de enxofre).

As técnicas geram uma quantidade significativa de resíduos sólidos, mas na maioria das aplicações este material pode ser reciclado ao forno. Conseqüentemente, para reduzir as emissões de gases ácidos, pode ser necessário considerar uma rota de disposição externa para uma parte do material particulado coletado. A reciclagem ou reutilização externa seria preferível ao aterro, no entanto, na maioria dos casos, não existe uma

opção de reutilização externa economicamente viável para o material. Além disso, requisitos legais existentes que definem tais materiais como resíduos podem atuar como barreiras adicionais à reciclagem externa. Os custos específicos associados às aplicações típicas de lavagem a seco quando um PE é aplicado são cerca de 4 a 6,5 euros por tonelada de vidro. Quando os sistemas de lavagem semi-secos são usados, os custos são 50 a 100% maiores.

(iv) HCl e HF: lavador seco ou semi-seco utilizando hidróxido de cálcio, carbonato de sódio ou bicarbonato de sódio em combinação com PE. A escolha do absorvente é importante e às vezes há necessidade de escolher entre a redução do SO₂ e a redução de HF e HCl. O pó seco ou uma suspensão/solução de reagente alcalino são introduzidos e dispersos na corrente de gás residual e reagem com os cloretos e fluoretos gasosos para formar um sólido que deve ser removido por filtração (precipitador eletrostático ou filtro de mangas). Os níveis de emissão associados são: <10 - 25 mg/Nm³ e <0,025-0,0625 kg/tonelada de vidro fundido (HCl); e <1 - 4 mg/Nm³ e <0,0025-0,010 kg/tonelada de vidro fundido (HF).

(v) Metais: lavador seco ou semi-seco em combinação com PE. Os níveis de emissão associados são: <0,2 – 1,0 mg/Nm³ e <0,5 – 2,5 x 10⁻³ kg/tonelada de vidro fundido (a soma de As, Co, Ni, Cd, Se, Cr_{VI}); e <1 – 5 mg/Nm³ e <2,5 – 12,5 x 10⁻³ kg/tonelada de vidro fundido (a soma de As, Co, Ni, Cd, Se, Cr_{VI}, Sb, Pb, Cr_{III}, Cu, Mn, V, Sn). No setor de vidro plano para a produção de vidro colorido, compostos de selênio, expressos como Se, também devem ser monitorados. Os níveis de emissão associados neste caso são 1 – 3 mg/Nm³ and 2,5 – 7,5 x 10⁻³ kg/tonelada de vidro fundido.

- Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: (i) Método de estimativa: BREF Glass (EUROPEAN UNION, 2013a); USEPA AP42 CH11.15 (MP, SO_x, NO_x, CO, e VOC) (USEPA, 1986a); Normalmente, os valores-limite de emissão são dados em concentrações referidas a 0 °C, 101,3 kPa e, para fornos contínuos de fusão, 8% de volume seco de oxigênio. (ii) Monitoramento: os parâmetros que podem ser medidos de forma contínua e descontínua, e os

métodos sugeridos relacionados, são apresentados na Tabela 6 e Tabela 7, respectivamente.

Tabela 6. Parâmetros que podem ser medidos continuamente e os métodos sugeridos.

Parâmetro	Método
Oxigênio (O ₂)	Paramagnético, célula de óxido de zircônio
Material particulado (MP)	Opacidade, dispersão de luz
Óxido de nitrogênio (NO)	Fotometria de infravermelho (IV) ou ultravioleta (UV), quimiluminescência
Óxidos de nitrogênio (NO + NO ₂)	Fotometria de IV ou UV, quimiluminescência equipada com conversor (NO ₂ a NO)
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Fotometria infravermelha ou UV
Monóxido de carbono (CO)	Fotometria de infravermelho
Hidrocarbonetos totais (HT)	Detector de ionização de chamas (FID)

Fonte: EUROPEAN UNION (2013a).

Tabela 7. Parâmetros que podem ser medidos de forma descontínua e os métodos sugeridos.

Parâmetro	Método
Material particulado (MP)	Filtração e determinação gravimétrica.
Óxidos de nitrogênio (NO + NO ₂)	Fotometria infravermelho (IV) ou ultravioleta (UV), quimiluminescência. Absorção em uma solução adequada e determinação química (colorimetria, cromatografia iônica etc.).
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Fotometria IV ou UV.
Óxidos de enxofre (SO ₂ + SO ₃)	Absorção em uma solução adequada e determinação química (titulação ou cromatografia iônica).
Trióxido de enxofre (SO ₃)	Absorção em solução adequada e determinação química (titulação ou cromatografia iônica).
Metais (As, Pb, Cd, Se, Cr, Cu, V, Mn, Ni, Co, Sb etc.)	Filtração e / ou absorção em uma solução adequada. Determinação por AAS ou ICP.
Selênio, como Se (particulado + gasoso)	Absorção em uma solução adequada e determinação química (por exemplo, HGAAS, ICP etc.).
Compostos de Boro (particulado + gasoso)	Absorção na determinação de água e química (ICP, titulação, colorimétrica).
Cloretos, como HCl	Filtração e absorção em solução adequada. Determinação por cromatografia iônica ou titulação.
Fluoretos, como HF	Filtração e absorção em solução adequada. Determinação por eletrodo de íon específico ou cromatografia iônica.
Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	Filtração e absorção em uma solução adequada. Cromatografia iônica, determinação colorimétrica ou titulação de retorno.
Formaldeído	Absorção em uma solução adequada. Determinação colorimétrica ou HPLC.
Fenol	Absorção em solução adequada. Cromatografia a gás ou determinação colorimétrica.
Amônia	Absorção em solução adequada. Cromatografia iônica, determinação por eletrodo de íon seletivo.
Aminas	Absorção em solução adequada ou sílica gel. determinação por GC, HPLC ou GC-MS.
Compostos orgânicos voláteis (COV)	Detector de ionização de chama (FID).
Oxigênio (O ₂)	Paramagnético, célula de óxido de zircônio.
Monóxido de carbono (CO)	Fotometria IV.
Dióxido de carbono (CO ₂)	Fotometria IV.

- Aspecto ambiental: geração de resíduo.
- Identificação do resíduo: MP.
- Medidas para não geração do resíduo ou sua redução: Ver medidas de prevenção no item acima.
- Destinação do resíduo: Reciclagem do material particulado para a formulação do lote de materiais quando os requisitos de qualidade permitirem. O material particulado retido nos filtros atua como um substituto de matérias-primas virgens contendo enxofre nos processos de fabricação de vidro que empregam sulfato como agente de clarificação.

- Aspecto ambiental: geração de resíduo.
- Identificação do resíduo: materiais refratários em fim de vida.
- Medidas para não geração do resíduo ou sua redução: valorização deste material para possível uso em outras indústrias.
- Destinação do resíduo: reutilização externa.

- Fonte 1.3.1 Banho de flutuação com estanho fundido
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: vapores de estanho. Se o banho de flutuação estiver corretamente operado, não há emissões consideráveis.
 - Medidas de prevenção da poluição: manutenção adequada e completa do equipamento e boas condições de operação.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: Não aplicável (N/A).
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: -.

- Fonte 1.3.2 Atmosfera controlada do banho de flutuação
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: hidrogênio (H₂). Se a atmosfera do banho de flutuador estiver corretamente operada, não há emissões consideráveis.
 - Medidas de prevenção da poluição: manutenção adequada e completa do equipamento e boas condições de operação.

- Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: N/A.
- Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: N/A.

- Fonte 1.4.1 Revestimento
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: (a) MP, HCl, HF, COV e metais das matérias-primas utilizadas para deposição química a vapor (tetracloreto de estanho (SnCl_4), ácido fluorídrico (HF), metanol (CH_3OH) e silano (SiH_4)); e (b) produtos de combustão do incinerador térmico (MP, CO, CO_2 , NO_x , SO_x).
 - Medidas de prevenção da poluição: minimização das perdas de produtos de revestimento aplicados ao vidro plano e assegurar uma boa vedação do sistema de aplicação.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: incinerador térmico e filtro de mangas (camada de sub-revestimento) - as emissões passam por um incinerador térmico para destruir qualquer orgânico, o gás residual é resfriado e os sólidos (sílica amorfa) são removidos por um filtro de mangas. O material coletado é reciclado ao forno; e PE e lavador de gases (fase de revestimento superior) - os gases residuais, que contêm haletos e compostos de estanho, passam através de um reator de alta temperatura para oxidar os compostos de estanho. O óxido de estanho sólido é removido por um precipitador eletrostático e os haletos são removidos em um sistema de tratamento de gases. Os níveis de emissão alcançados são: MP: 15 mg/Nm^3 , HCl: 5 mg/Nm^3 , HF: $<1 \text{ mg/Nm}^3$ e Metais: $<5 \text{ mg/Nm}^3$.
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: -.

- Fonte 1.4.2 Condicionamento (forno de recozimento)
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: (a) SO_2 . Se o processo for operado corretamente, as emissões são baixas ($150 - 300 \text{ mg/Nm}^3$ and $0,02 - 0,04 \text{ kg/tonelada}$ de vidro); e (b) produtos de combustão (MP, CO, CO_2 , NO_x , SO_x).

- Medidas de prevenção da poluição: minimização das perdas de SO₂ da linha de recozimento, operando o sistema de controle de forma otimizada.
- Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: Combinar as emissões de SO₂ do forno de recozimento com o gás residual do forno de fusão, quando tecnicamente viável e quando um sistema de tratamento secundário é aplicado (filtro e lavador seco e semi-seco).
- Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: Veja as considerações referentes ao forno de fusão.

- Aspecto ambiental: lançamentos em água
- Poluentes gerados: halogênios orgânicos adsorvíveis, demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), substâncias cloradas e compostos de fósforo.
- Medidas de prevenção da poluição: (i) pré-tratamento de água de resfriamento (como floculação, precipitação, filtração ou tecnologia de membrana) pode reduzir os requisitos de água, onde é necessário reduzir a purga para manter o mesmo fator de concentração; (ii) reutilização de águas de resfriamento e limpeza após purga; (iii) uma tecnologia baseada em sistema de descarga zero pode ser aplicada tratando e reutilizando a purga.
- Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: tratamento físico/químico. O lodo resultante precisa ser destinado apropriadamente. Em geral, os resíduos separados dos sistemas de água de processo não são reciclados e são dispostos em aterro sanitário.
- Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: o monitoramento periódico de parâmetros como temperatura, concentração de oxigênio, pH, condutividade etc. pode ser usado para controlar a qualidade das águas residuais.

- Fontes 1.4.3 Inspeção e 1.4.4 Corte
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: MP e metais.
 - Medidas de prevenção da poluição: -.

- Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: FT (sistema de filtro de mangas): adequado para a redução de poeira e metal.
- Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: o monitoramento periódico pode ser adotado se necessário.

- Aspecto ambiental: geração de resíduo.
- Identificação do resíduo: cacos de vidro rejeitados da produção (material fora das especificações requeridas, bordas destacadas, produto quebrado e amostras de qualidade).
- Medidas para não geração do resíduo ou sua redução: evitar perdas e quebras de produtos.
- Destinação do resíduo: reciclagem interna.

- Fontes 1.4.5 Embalagem e 1.4.6 Expedição
 - Aspecto ambiental: geração de resíduo.
 - Identificação do resíduo: placas quebradas durante a embalagem e o despacho.
 - Medidas para não geração do resíduo ou sua redução: técnicas de embalagem e despacho que impedem perdas e quebras de produtos.
 - Destinação do resíduo: reciclagem interna.

 - Aspecto ambiental: geração de resíduo
 - Identificação do resíduo: resíduos de material de embalagem (por exemplo, plásticos, papel, papelão e madeira).
 - Medidas para não geração do resíduo ou sua redução: técnicas de empacotamento e despacho que evitam perdas materiais e sobras.
 - Prevention measures: reciclagem externa.

Um aspecto ambiental comum a todas as fontes mencionadas acima é a emissão de ruído que, em geral, pode ser caracterizada da seguinte forma:

- Aspecto ambiental: emissões de ruído.

- Poluentes gerados: ruído (de movimentos de veículos, motores, manuseio de materiais, correias transportadoras, sistemas de ar comprimido, ventilador (para extração de ar de combustão e gases residuais), máquinas de moldagem e operações de corte. Pode ocorrer dos níveis de ruído excederem o valor de 85 dBA. Os níveis de ruído dentro da instalação representam principalmente um problema de saúde ocupacional. O ruído não é considerado um problema ambiental na indústria do vidro, porém uma avaliação do impacto ambiental da planta de vidro deve ser feita em relação à proximidade com receptores sensíveis, observado as leis e normas aplicáveis.
- Medidas de prevenção da poluição: manutenção regular de equipamentos de produção e controle; realização de uma avaliação do ruído ambiental e formulação de um plano de gerenciamento de ruído conforme apropriado ao ambiente local; evitar atividades barulhentas ao ar livre durante a noite; e utilização paredes de proteção contra ruído ou barreiras naturais (por exemplo, árvores, arbustos) entre a instalação e a área protegida.
- Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: as técnicas de redução de ruído mais comuns são o enclausuramento de equipamentos/operações barulhentas em estruturas separadas e o uso de barreiras para a fonte de ruído.
- Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: ISO 1996-1:2016 e ISO 1996-2:2017.

Os efeitos ambientais relacionados que podem ser agravados em caso de não conformidade das fontes de poluição são: consumo de matérias-primas e água, consumo de energia e contribuição para mudanças climáticas, potencial criação de ozônio fotoquímico, acidificação resultante de emissões para o ar, material particulado no ar ambiente, eutrofização resultante de emissões para o ar ou água, potencial de depleção de oxigênio na água, componentes persistentes/tóxicos/bioacumuláveis (incluindo metais), geração de resíduos, limitação da capacidade de reutilização ou reciclagem de resíduos, geração de ruído e/ou odor, e aumento do risco de acidentes.

As principais preocupações ambientais encontradas para a fabricação de vidro por flutuação foram as emissões para o ar e o consumo de energia. O maior potencial de poluição ambiental surge das atividades de fusão. Em geral, os lançamentos em

água, os lançamentos em terra e a emissão de ruído, analisando-se em nível setorial, são relativamente baixos e não representam problemas ambientais na indústria do vidro plano por flutuação. Em relação à geração de resíduos, estima-se que até 95% dos resíduos de vidro do processamento sejam reciclados de alguma forma

Com base nos resultados do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP), foi aplicado o Método de Diagrama de Precedência (PDM) e foi obtido um Fluxograma de Inspeção Ambiental, que pode ser utilizado para vistorias de licenciamento, acompanhamento pós-licença e fiscalização ambiental, apresentado na Figura 20.

Trata-se de uma ferramenta valiosa para orientar o agente ambiental para que ele possa trabalhar com foco, agilidade, assertividade e padrão, passando por um caminho otimizado de verificação de conformidade de fontes de poluição ambiental. As setas vermelhas indicam o caminho crítico do fluxo, que pode ser interpretado como o conjunto de atividades que, se atrasadas, irão impactar a duração da inspeção como um todo. As setas em azul indicam atividades que não estão no caminho crítico.

É importante notar que, diferentemente de um fluxograma de processo tradicional, foi obtido um fluxo de trabalho otimizado e customizado para o trabalho do agente ambiental. Foi dada ênfase às fontes de poluição ambiental, seguindo o fluxo do processo, mas suprimindo informações que não estão relacionadas aos aspectos ambientais de interesse.

Uma estratificação baseada na relevância de cada fonte também foi estabelecida com base no potencial de poluição. Para isso, considerou-se o aspecto ambiental predominante de uma fonte, o principal poluente gerado e sua contribuição em relação ao conjunto de fontes. Desta forma, foi considerado: fontes com baixa relevância, como aquelas com contribuições de poluição abaixo de 1% (código verde); fontes de relevância média, aquelas com contribuição maior ou igual a 1% e menor que 10% (código amarelo); e fontes de alta relevância, aquelas com contribuição maior ou igual a 10% (código vermelho).

Na fabricação de vidro plano por flutuação, foi possível identificar 1 fonte de alta relevância (1.2.2 Forno regenerativo), 4 fontes de média relevância (1.1.1.1.4 Armazenamento de matérias-primas voláteis, 1.1.2.1 Armazenamento de combustível, 1.4.1 Revestimento e 1.4.2 Condicionamento (forno de recozimento), sendo outras 22 fontes classificadas como de baixa relevância. Esses parâmetros podem ser calibrados e ajustados para outros cenários, considerando critérios de conveniência e oportunidade.

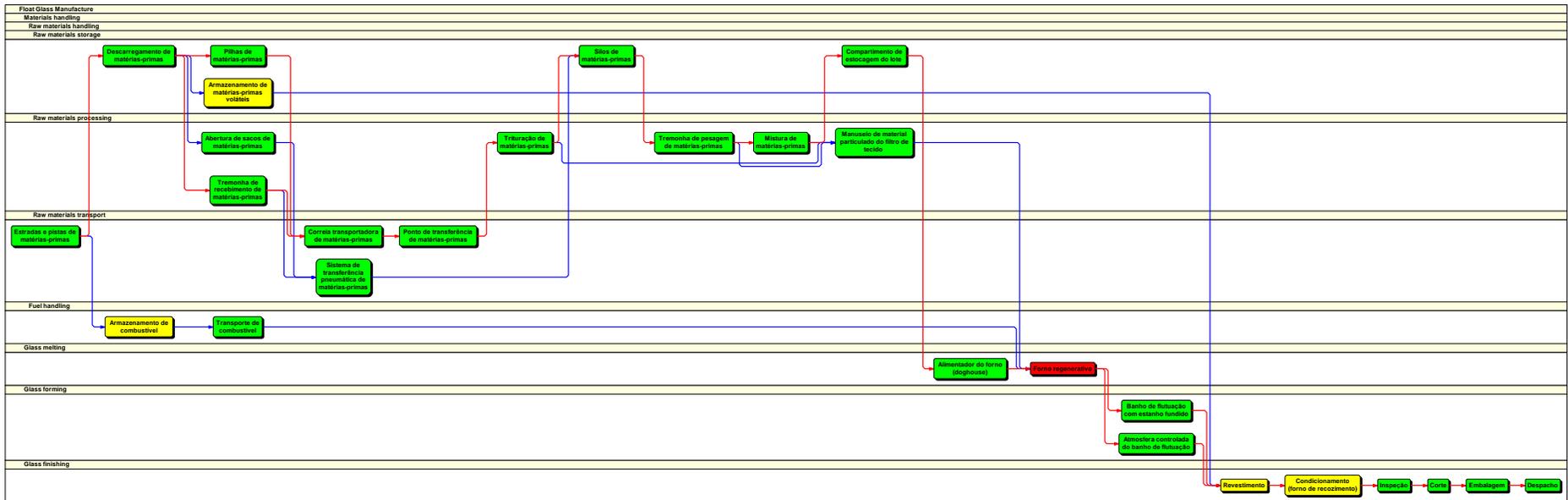


Figura 20. Fluxograma de Inspeção Ambiental para o processo de fabricação de vidro plano.
 Fonte: elaboração própria.

Com base na relevância das fontes, a quantidade de trabalho relacionada às atividades de verificação da fonte de poluição foi estimada de acordo com a relevância: baixa (9 min), média (18 min) e alta (60 min). Como resultado, obteve-se uma quantidade total de trabalho igual a 5,5 horas, ou seja, a inspeção pode ser realizada por 1 agente ambiental com uma duração estimada de 5,5 h. Se a quantidade de trabalho fosse maior, a duração poderia ser reduzida com a alocação de outro agente ambiental. No entanto, deve-se ter em mente que esta não é uma relação linearmente proporcional, havendo um ponto em que a alocação de mais agentes ambientais resulta em uma duração maior em comparação com a duração que pode ser alcançada com um número menor, conforme explicado pela lei de rendimentos decrescentes.

O uso desta solução permite um melhor planejamento do licenciamento, acompanhamento pós-licença e ações de fiscalização e uma alocação racional de recursos para a realização de vistorias, conferindo mais agilidade e qualidade ao serviço prestado.

Finalmente, a partir do resultado da aplicação do PDM e do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP), resultado da aplicação da metodologia a nível de setor, foi realizada a modelagem do processo usando uma solução de *Business Process Management (BPM)*, o software *Bizagi Modeler*.

O fluxo de trabalho resultante consolida todas as informações obtidas neste trabalho (etapas 1 a 4 da Metodologia DFP) e permite, de forma simples e interativa, que as etapas 5 a 7 sejam registradas para plantas específicas, com geração de relatórios de vistoria automaticamente. Algumas imagens mostrando o modelo obtido e as funcionalidades que a solução disponibiliza são apresentadas na Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24, Figura 25, Figura 26 e Figura 27.

Se não forem observadas não-conformidades, também é possível a emissão automática de parecer técnico para subsidiar a emissão de licenças ambientais, otimizando a análise técnica e permitindo níveis elevados de proteção ambiental.

Para se prosseguir com a aplicação da metodologia em uma planta industrial específica, o que não está no escopo do presente trabalho, bastaria seguir aplicando os passos 5 a 7, o que pode ser realizado facilmente por meio da solução desenvolvida. Neste caso, além de dados específicos da planta, deve-se considerar a localização e a legislação ambiental relacionada.

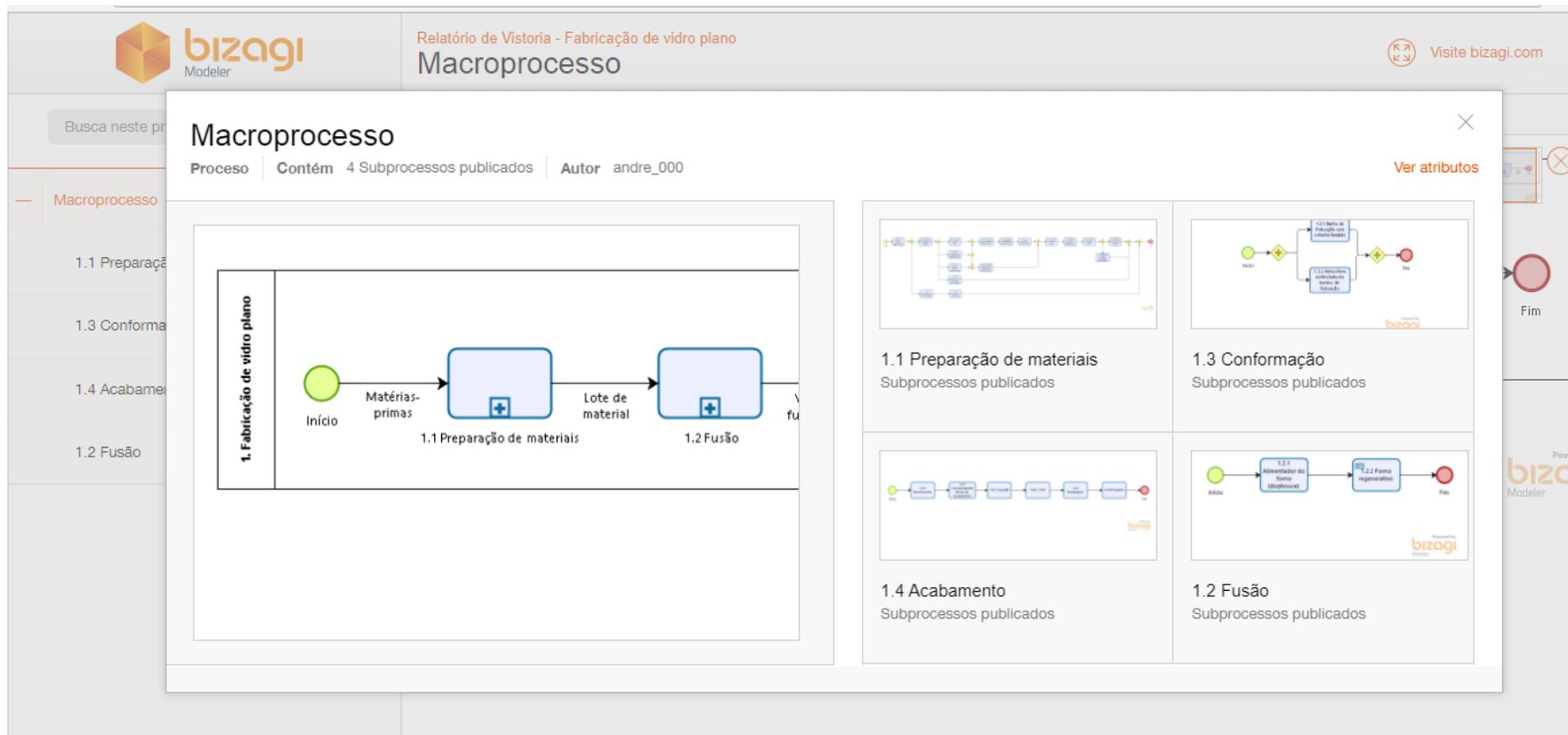


Figura 21. Tela interativa com macroprocesso, processos e fontes de poluição ambiental consolidadas.
Fonte: Elaboração própria.

The screenshot displays the Bizagi Modeller interface. At the top, the Bizagi logo and 'Modeler' text are on the left, and 'Relatório de Vistoria - Fabricação de vidro plano' and '1.2 Fusão' are in the center. A search bar is on the left, and 'Visite bizagi.com' is on the right. A sidebar on the left lists navigation items: 'Macroprocesso', '1.1 Preparação', '1.3 Conformação', '1.4 Acabamento', and '1.2 Fusão' (highlighted). A modal window titled '1.2 Fusão' and '1.2.2 Forno regenerativo' is open, showing 'Subprocessos publicados'. The main content includes: 'Emissões para o ar' with a note to evaluate the source; 'Poluente' listed as 'MP'; 'Descrição' detailing emission sources and the composition of particulate matter (MP) as sodium sulfate; and 'Medidas de prevenção (primárias)' including negative pressure application.

1.2 Fusão

1.2.2 Forno regenerativo

Subprocessos publicados

Emissões para o ar

Avalie a fonte considerando as medidas de prevenção (primárias) por poluente e as medidas de controle (secundárias) para o conjunto de poluentes.

Poluente

MP

Descrição

As principais fontes de MP no forno de fusão são: (a) volatilização de componentes do lote do vidro fundido e posterior condensação em partículas de poeira submicrométricas; (b) transferência de material fino no lote; e (c) produto da combustão de combustíveis fósseis.

O principal constituinte do MP da produção de vidro com formulação soda-cal é o sulfato de sódio (até 95%) com uma temperatura de formação a 800 °C. O sulfato de sódio não é considerado prejudicial em si, no entanto, a emissão de partículas com um diâmetro inferior a 10 micrômetros (PM10) e 2,5 micrômetros (PM2,5) apresenta um potencial para causar problemas de saúde e danos ambientais.

Medidas de prevenção (primárias)

(a) aplicação de uma pressão ligeiramente negativa dentro do forno;

**Figura 22. Tela com exemplo de ficha resumo de fonte de poluição (Fonte 1.2.2 Forno regenerativo).
Fonte: Elaboração própria.**

Propriedades do elemento - 1.2.2 Forno regenerativo

Básico **Estendido** Avançado Acionar Apresentação

[Adicionar um novo atributo estendido](#)

Emissões para o ar

Avalie a fonte considerando as medidas de prevenção (primárias) por poluente e as medidas de controle (secundárias) para o conjunto de poluentes.

Poluente

MP

MP
NOx
SOx
HCl
HF
Metais
CO
CO2

As fontes de MP no forno de fusão são: (a) volatilização de componentes do lote do vidro fundido e posterior condensação em partículas de poeira submicrométricas; (b) transferência de material fino do duto da combustão de combustíveis fósseis.

O constituinte do MP da produção de vidro com formulação soda-cal é o sulfato de sódio (até 95%) com uma temperatura de formação a 800 °C. O sulfato de sódio não é considerado prejudicial em si, mas a emissão de partículas com um diâmetro inferior a 10 micrômetros (PM10) e 2,5 micrômetros (PM2.5) apresenta um potencial para causar problemas de saúde e danos ambientais.

Medidas de prevenção (primárias)

(a) aplicação de uma pressão ligeiramente negativa dentro do forno;
 (b) uma percentagem de água pode ser mantida no lote, geralmente 0 a 4%, para reduzir a poeira durante o transporte e a transferência de partículas finas para fora do forno;
 (c) modificações de matérias-primas, visando à redução de componentes voláteis;
 (d) redução de temperatura na superfície da massa fundida, porque mais espécies voláteis são geradas a temperaturas mais elevadas;
 (e) posicionamento do queimador, porque uma alta velocidade de gás ou um alto nível de turbulência na superfície da massa fundida aumentam a taxa de volatilização;
 (f) conversão para queima de gás ou óleos com teor de enxofre muito baixo; e
 (g) realizar um monitoramento constante dos parâmetros operacionais e uma manutenção programada do forno de fusão, com o objetivo de minimizar os efeitos de envelhecimento no forno (selando os blocos do forno e do queimador, mantendo o isolamento máximo, controlando as condições da chama estabilizada, controlando a relação ar/combustível, etc.).

Avaliação das medidas de prevenção

Atendido Não atendido

Poluente

NOx

Figura 23. Tela para registro de dados para avaliação da situação de conformidade das fontes de poluição ambiental.
 Fonte: Elaboração própria.

The screenshot shows a software window titled "Editar Colunas" with a blue header bar. The window contains several sections for configuring air pollution control measures:

- Poluentes controlados:** A grid of checkboxes for various pollutants. MP, HF, NOx, CO, SOx, CO2, HCl, and COV.
- Equipamento/medida de controle - MP:** A grid of checkboxes for particulate matter control equipment. Coletores gravitacionais, Lavadores com pré-atomização, [Não é realizado controle de MP], Coletores centrífugos, Lavadores com atomização pelo gás, Precipitadores eletrostáticos, Lavadores com enchimento, Filtros de tecido, and Sistemas não-convencionais (especificar).
- Equipamento/medida de controle - Gases:** A grid of checkboxes for gas control equipment. Adsorvedores, Condensador, Selective Catalytic Reduction - SCR, [Não é realizado controle de gases], Incinerador térmico, Absorvedor, Lavador seco, Incinerador catalítico, Biorreator, Lavador semi-seco, Redutor catalítico, Chemical Reduction by Fuel - CRF, and Sistemas não-convencionais (especificar).
- Desempenho do controle:** Radio buttons for Atendido and Não atendido.
- Equipamento/medida de monitoramento:** A large empty text input field.
- Desempenho do monitoramento:** Radio buttons for Atendido and Não atendido.
- Valor de emissão:** A large empty text input field.

At the bottom right of the window, there are "Ok" and "Cancelar" buttons.

Figura 24. Tela para registro das medidas de controle (secundárias) de poluição do ar.
Fonte: Elaboração própria.

Editar Colunas

Poluentes

- pH
- Nitrogênio
- Sulfato
- Orgânicos voláteis
- Sólidos dissolvidos
- Sólidos suspensos totais
- Fósforo
- Metais pesados
- Orgânicos recalcitrantes
- Fenóis
- Sólidos sedimentáveis
- Cianeto
- Poluentes persistentes
- Arsênio
- Óleos e graxas
- Sulfeto
- Orgânicos biodegradáveis
- Fluoreto

Parâmetros

- Temperatura
- Carbono orgânico total (COT)
- Oxigênio dissolvido
- Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)
- Demanda química de oxigênio (DQO)

Origem

Vazão (m3/d)

0,00

Medidas de controle - Tratamentos físicos

- Gradeamento/peneiramento
- Flotação
- Eletrodíálise
- Equalização
- Aeração
- Eletrodeionização
- Sedimentação
- Stripping
- Filtração convencional
- Separação por gravidade diferencial
- Adsorção
- Microfiltração (MF)

Ok Cancelar

Figura 25. Tela para registro das medidas de controle de poluição das águas (parte 1/2).
Fonte: Elaboração própria.

Editar Colunas

Eletrodiálise
 Eletrodeionização
 Filtração convencional
 Microfiltração (MF)

Ultrafiltração (UF)
 Nanofiltração (NF)
 Osmose inversa (OI)

Medidas de controle - Tratamentos químicos

Ajuste de pH
 Precipitação química
 Oxi-redução
 Troca iônica

Processos oxidativos avançados (POA)

Medidas de controle - Tratamentos biológicos

Lodos ativados
 Lagoas aeradas
 Lagoas de estabilização
 Filtros biológicos

Contactores biológicos rotativos
 Reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB)
 Lagoas anaeróbias

Concentração de entrada (mg/L)

Concentração de saída (mg/L)

Padrão de lançamento (mg/L)

Referência legal

Resíduos sólidos gerados

Detritos sólidos, retidos em grades e peneiras
 Areia, depositada em caixas de sedimentação
 Óleo, advindo de Separador água-óleo
 Escuma, separada de decantadores

Lodos químicos, provenientes de decantadores e flotores
 Lodos biológicos excedentes, separados em decantadores,...
 Soluções concentradas, separadas em filtros de membrana
 Carvão ativado, separado em filtros ou colunas de carvão...

Material filtrante exaurido, retirado de filtros
 Resíduos de processos de troca-iônica

Ok Cancelar

Figura 26. Tela para registro das medidas de controle de poluição das águas (parte 2/2).
Fonte: Elaboração própria.

The image shows a software window titled "Editar Colunas" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window contains several form fields for data entry:

- Resíduos perigosos (Código/Nome):** A dropdown menu.
- Resíduos não perigosos (Código/Nome):** A dropdown menu.
- Estado físico do resíduo:** A dropdown menu.
- Quantidade gerada (t/ano):** A numeric input field with a spinner, currently showing "0,00".
- Medidas de prevenção da geração:** A text input field with a help icon on the right.
- Medidas de redução da geração:** A text input field.
- Forma de armazenamento:** A dropdown menu.
- Destinação - Tratamento:** A dropdown menu.
- Destinação - Reutilização/Reciclagem/ Recuperação:** A dropdown menu.
- Destinação - Disposição final:** A dropdown menu.

At the bottom right of the window, there are two buttons: "Ok" and "Cancelar".

Figura 27. Tela para registro de dados referentes à gestão de resíduos.
Fonte: Elaboração própria.

A título meramente exemplificativo, serão listadas nos itens a seguir algumas leis, regulamentos e normas técnicas gerais e específicas (federalis e do estado do Rio de Janeiro) relacionadas com a análise de requerimentos de licenciamento ambiental para fabricação de vidro:

- Leis, regulamentos e normas técnicas gerais federais
 - Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (art. 23, 24 e 225);
 - Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos;
 - Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente;
 - Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC);
 - Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências;
 - Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências;
 - Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, que fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora;
 - Decreto nº 8.437, de 22 de abril de 2015, que regulamenta o disposto no art. 7º, caput, inciso XIV, alínea “h”, e parágrafo único, da Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, para estabelecer as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental será de competência da União;

- Resolução nº 001/90 do CONAMA, de 08.03.90, publicada no D.O.U. de 02.04.90, que dispõe sobre critérios e padrões de emissão de ruídos;
 - Resolução nº 237/1997 do CONAMA, de 22.12.1997, publicada no D.O.U. de 22.12.1997, que regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente;
 - Resolução nº 313 do CONAMA, de 29.10.02, publicada no D.O.U. de 22.11.02, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais;
 - Resolução nº 357 do CONAMA, de 17.03.05, publicada no D.O.U. de 18.03.05, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências;
 - NBR-10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação;
 - NBR-10.151 – Acústica – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento;
 - NBR-11.174 – Armazenamento de Resíduos Classes II (não inertes) e Classe III (inertes);
 - NBR-12.235 – Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos (Classe I).
- Leis, regulamentos e normas técnicas gerais estaduais (Rio de Janeiro)
 - Constituição do Estado do Rio de Janeiro de 1989 (arts. 261 a 282);
 - Lei nº 1.898 de 26.11.91, que dispõe sobre a realização de Auditorias Ambientais;
 - Lei nº 1.925 de 26.12.91, que altera dispositivo da Lei nº 1.804, de 26.03.91, que determina que as indústrias sediadas no Estado do Rio de Janeiro afixem, em locais visíveis, placas que indiquem a natureza dos produtos ali produzidos;
 - Lei nº 2.011 de 10.07.92, que dispõe sobre a obrigatoriedade da implantação de programa de redução de resíduos;
 - Lei nº 3.239 de 02.08.99, que institui a política estadual de recursos hídricos, cria o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta a Constituição Estadual, em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso VII, e dá outras providências;

- Lei nº 3.467, de 14.09.2000, que dispõe sobre as sanções administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente no Estado do Rio de Janeiro;
- DZ-703.R-4 – Roteiros para Apresentação de Projetos para Tratamento de Efluentes Líquidos, aprovada pela Deliberação CECA nº 19 de 16.02.78 e publicada no D.O.R.J. de 12.04.78;
- IT-802.R-1 – Instrução Técnica para Apresentação de Projetos de Sistemas de Controle da Poluição do Ar, aprovada pela Deliberação CECA nº 311 de 28.09.78 e publicada no D.O.R.J. de 10.10.78;
- NT-202.R-10 – Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos, aprovada pela Deliberação CECA nº 1.007 de 04.12.86 e publicada no D.O.R.J. de 12.12.86;
- NT-213.R-4 – Critérios e Padrões para Controle da Toxicidade em Efluentes Industriais, aprovada pela Deliberação CECA nº 1.948 de 04.09.90 e publicada no D.O.R.J. de 18.10.90;
- DZ-942.R-7 – Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos PROCON-ÁGUA, aprovada pela Deliberação CECA nº 1.995 de 10.10.90 e publicada no D.O.R.J. de 14.01.91;
- DZ-215.R-4 – Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Sanitária, aprovada pela Deliberação CECA nº 4.886 de 26.04.94, publicada no D.O.R.J. de 18.05.94;
- DZ-1310.R-7 – Sistema de Manifesto de Resíduos, aprovada pela Deliberação CECA nº 4.497 de 03.09.04 e publicada no D.O.R.J. de 21.09.04;
- DZ-205.R-6 – Diretriz de Controle de Carga Orgânica em Efluentes Líquidos de Origem Industrial, aprovada pela Deliberação CECA nº 4.887 de 25.09.07, publicada no D.O.R.J. de 05.10.07 e republicada no D.O.R.J. de 08.11.07;
- DZ-056.R-3 – Diretriz para Realização de Auditoria Ambiental, aprovada pela Resolução CONEMA nº 021 de 07.05.10 e publicada no D.O.R.J. de 14.05.10;
- Resolução Inea nº 31, de 15 de abril de 2011 - Estabelece os códigos a serem adotados pelo Inea para o enquadramento de empreendimentos e atividades sujeitos ao licenciamento ambiental;

- Resolução Inea nº 32, de 15 de abril de 2011 - Estabelece os critérios para determinação do porte e potencial poluidor dos empreendimentos e atividades, para seu enquadramento nas classes do Slam;
 - Resolução Inea nº 52, de 19 de março de 2012 - Estabelece os novos códigos para o enquadramento de empreendimentos e atividades poluidores ou utilizadores de recursos ambientais, bem como os capazes de causar degradação ambiental, sujeitos ao licenciamento ambiental;
 - Resolução Inea nº 53, de 27 de março de 2012 - Estabelece os novos critérios para a determinação do porte e potencial poluidor dos empreendimentos e atividades poluidores ou utilizadores de recursos ambientais, bem como os capazes de causar degradação ambiental, sujeitos ao licenciamento ambiental;
 - Resolução Conema nº 42, de 17 de agosto de 2012 - Dispõe sobre as atividades que causam ou possam causar impacto ambiental local, fixa normas gerais de cooperação federativa nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente e ao combate à poluição em qualquer de suas formas, conforme previsto na Lei Complementar no 140/2011, e dá outras providências.
- Leis, regulamentos e normas técnicas específicas federais
 - Resolução nº 382 do CONAMA, de 26.12.06, publicada no D.O.U. de 02.01.07, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas;
 - Resolução nº 436 do CONAMA, de 22.12.2011, publicada no D.O.U. de 26/12/2011, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007;
 - Leis, regulamentos e normas técnicas específicas estaduais (Rio de Janeiro)
 - DZ-0532.R-1 - Diretriz para Controle da Poluição do Ar em Indústrias que Produzem Vidro Primário, aprovada pela Deliberação CECA nº 722 de 19.09.1985 e publicada no D.O.R.J. de 10.10.1985;

- NT-530.R-1 - Padrões de Emissão de Partículas para Indústrias que Produzem Vidro Primário, aprovada pela Deliberação CECA nº 723 de 19.09.1985 e publicada no D.O.R.J. de 10.10.1985;

4.1.3 Estudo de Caso 2: Fabricação de cimento

O cimento e o concreto (mistura de cimento, água e agregados) são usados há bastante tempo para construir estruturas duráveis, podendo ser citados como exemplos de testemunhos históricos que utilizaram materiais com composições similares a grande muralha da China, os monumentos egípcios e o Coliseu e Panteão em Roma (KARSTENSEN, 2010).

Os portos e quebra-mares construídos durante o Império Romano intrigam há muito tempo a comunidade científica, pois duraram mais que muitos portos modernos. Algumas estruturas permanecem rígidas após 2.000 anos, enquanto alguns portos modernos mostraram erosão avançada com apenas algumas décadas. O escritor romano Plínio, o Velho, chegou a escrever em sua obra *Naturalis Historia*, no século I, sobre a estrutura dos portos romanos “que assim que se encontra em contato com as ondas do mar e está submersa torna-se uma única massa de pedra (*fierem unum lapidem*), inexpugnável para as ondas e cada dia mais forte”. Pesquisadores da Universidade de Utah (Estados Unidos), liderados pela geóloga Marie Jackson, utilizaram luz síncrotron, produzida por um acelerador de partículas, para estudar em escala microscópica o concreto romano, que consistia em uma argamassa composta por cinzas vulcânicas, cal e água do mar, que era acrescida de pedaços de rocha vulcânica. Os cientistas descobriram que a filtragem de água do mar através do concreto leva ao crescimento de minerais interligados que dão ao concreto uma coesão adicional (JACKSON, MULCAHY, *et al.*, 2017).

O cimento utilizado pelos romanos foi produzido utilizando matérias-primas disponíveis localmente, calcário e cinzas vulcânicas. A versão moderna do cimento, denominada cimento Portland, que leva esse nome devido a semelhança com as rochas de uma ilha britânica com esse nome, foi desenvolvida no início do século XIX e desde então vem sendo aprimorada. Atualmente, existem 27 tipos de cimentos comuns que podem ser agrupados em cinco categorias gerais (THE EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION, 2017).

O mercado brasileiro dispõe de 8 opções, que compreendem 11 tipos básicos de cimento Portland, conforme apresentado na Tabela 8. Essas variações atendem aos mais diferentes tipos de obras, sendo o cimento Portland comum (CP I) a

referência, devido às suas características e propriedades (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2017a).

Tabela 8. Tipos de Cimento Portland.

Tipo de Cimento	Adições	Sigla	Norma
Cimento Portland Comum	Escória, pozolana ou fíler (até 5%)	CP I-S 32 CP I-S 40	5732
Cimento Portland Composto	Escória (6-34%)	CP II-E 32 CP II-E 40	11578
	Pozolana (6-14%)	CP II-Z 32	
	Fíler (6-10%)	CP II-F 32 CP II-F 40	
Cimento Portland de Alto-Forno	Escória (35-70%)	CP III 32 CP III 40	5735
Cimento Portland Pozolânico	Pozolana (15-50%)	CP IV 32	5736
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	Materiais carbonáticos (até 5%)	CP V-ARI	5733
Cimento Portland Resistente aos Sulfatos	Estes cimentos são designados pela sigla RS. Ex.: CP III-40 RS, CP V-ARI RS		5737

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (2017a).

Historicamente, o desenvolvimento do processo de fabricação do clínquer, importante matéria-prima para produção de cimento, foi caracterizado pela mudança do processo via úmida para o processo via seca, com os passos intermediários sendo os processos semiúmidos e semissecos. No processo via úmida, as matérias-primas são moídas e misturadas à água em um moinho de bolas, onde é formada uma pasta que alimentará o forno. Nesse processo, o consumo de energia é elevado comparado ao processo via seca, devido à necessidade de secagem da água contida na pasta. No processo via seca, um pré-aquecedor é utilizado para secar a matéria-prima antes de sua entrada no forno, utilizando para isso os gases quentes provenientes do forno, o que demanda menor consumo energético. No Brasil, o processo mais utilizado é o processo via seca, e por esse motivo será o processo apresentado no presente trabalho (KARSTENSEN, 2010). Segundo o mesmo autor, o processo de fabricação de cimento via seca pode ser subdividido nos seguintes subprocessos:

- Extração;
- Preparo de matérias-primas;
- Preparo dos combustíveis;
- Produção do clínquer;
- Preparo de adições minerais;
- Moagem de cimento;
- Expedição do cimento.

Uma imagem de uma planta de cimento Portland é mostrada na Figura 28 (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 2017), enquanto uma representação esquemática do processo de produção por via seca é apresentado na Figura 29.



**Figura 28. Imagem aérea de uma fábrica de cimento Portland
(Fonte: Portland Cement Association, 2017).**

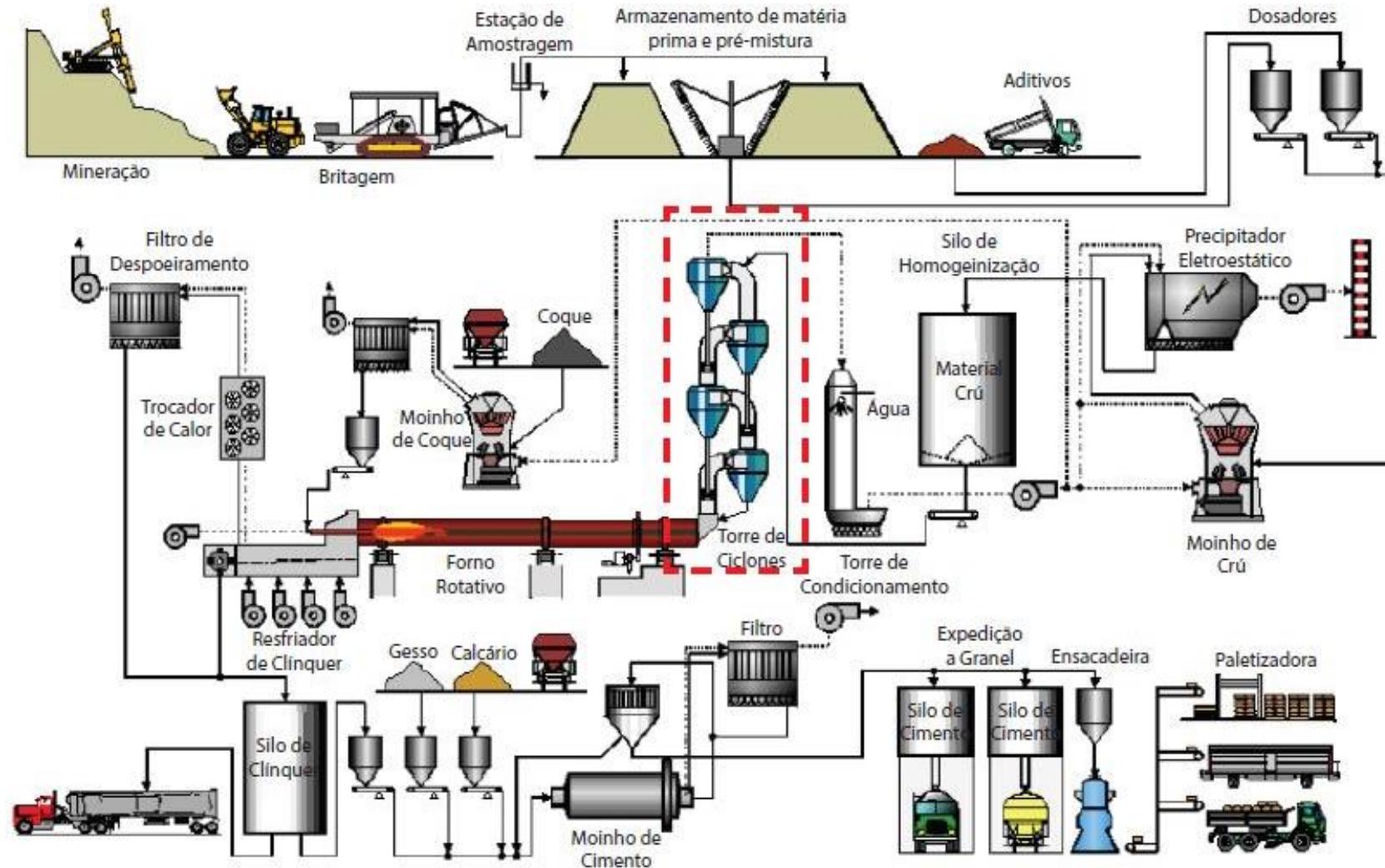


Figura 29. Produção de cimento pelo processo via seca.
 Fonte: The European Cement Association (1999).

A metodologia de análise técnica apresentada no item 4.1.1 foi aplicada em nível de setor para a fabricação de cimento Portland, que permite a aplicação dos passos 1 a 4, sendo os resultados apresentados a seguir:

4.1.3.1 Passo 1 - Represente o macroprocesso

O macroprocesso de fabricação de cimento foi representado em um diagrama de blocos resumido, considerando em alto nível os principais processos (preparação de materiais, produção de clínquer e preparação de cimento), bem como suas principais entradas e saídas, como mostrado na Figura 30.

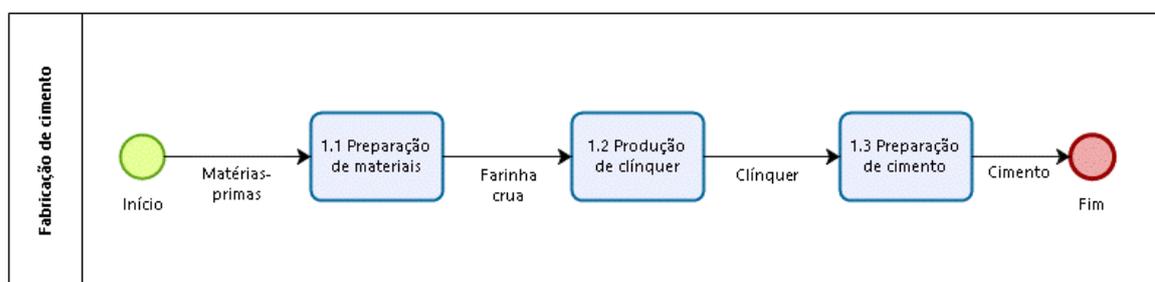


Figura 30. Macroprocesso de fabricação de cimento Portland.
Fonte: elaboração própria.

Neste trabalho, foi escolhido o processo de produção de cimento Portland por via seca porque corresponde a um processo mais moderno e com menor consumo de energia (EUROPEAN UNION, 2013b). Cada processo foi nomeado, descrito e identificado com um código único, de modo a garantir a rastreabilidade das informações ao longo da análise, como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9. Resumo dos principais processos de fabricação de cimento Portland.

ID	Nome	Descrição, entradas e saídas
1.1	Preparação de materiais	<p>Entradas: matérias-primas</p> <p>Saídas: farinha crua</p> <p>As matérias-primas calcárias são trituradas e depois são moídas e misturadas com outros componentes como óxido de ferro, alumina e sílica para produzir farinha crua, que é</p>

ID	Nome	Descrição, entradas e saídas
		cuidadosamente monitorada e controlada. Esta etapa também compreende a preparação do combustível.
1.2	Produção do clínquer	Entradas: farinha crua, combustíveis Saídas: clínquer, gases residuais A farinha crua é alimentada no forno, sendo submetida a estágios consecutivos consistindo em: secagem/pré-aquecimento, calcinação (liberação de CO ₂ do calcário) e sinterização (ou clinquerização). O produto resultante da queima, chamado clínquer, é então resfriado com o ar e transportado para armazenamento intermediário.
1.3	Preparação de cimento	Entradas: clínquer Saídas: cimento O vidro fundido é vertido sobre um banho de estanho fundido e forma uma tira com as superfícies superior e inferior ficando paralelas sob a influência da gravidade e da tensão superficial.

Fonte: Elaboração própria. Adaptado de SHREVE e BRINK (2012); EUROPEAN UNION (2013b); e USEPA (1995).

4.1.3.2 Passo 2 - Realize a decomposição hierárquica de processos

No segundo passo foi aplicada a decomposição hierárquica de processos. Os principais processos de fabricação de cimento obtidos no passo 1 foram selecionados e decompostos em processos mais simples, obtendo o segundo nível de decomposição hierárquica, e assim por diante até um nível que permitisse a compreensão das atividades realizadas, principalmente operações unitárias e conversões químicas, que pudessem representar potenciais fontes de poluição para

o ar, a água e o solo, mesmo que as fontes de poluição não fossem conhecidas nesta fase. Os processos obtidos foram identificados, nomeados e descritos de acordo com literatura especializada sobre processos de fabricação de cimento.

4.1.3.2.1 Processo 1.1 - Preparação de materiais

Este processo foi decomposto em dois processos: Preparação de matérias-primas (1.1.1) e Preparação de combustíveis (1.1.2). Como os processos ainda eram muito abrangentes, foi aplicado um nível adicional de decomposição hierárquica. Assim, a preparação de matérias-primas foi decomposta em três processos (estocagem de matérias-primas (1.1.1.1), processamento de matérias-primas (1.1.1.2) e transporte de matérias-primas (1.1.1.3)). Além disso, o processamento de matérias-primas foi subdividido em dois processos: 1.1.1.2.1 trituração de matérias-primas e 1.1.1.2.2 moagem de matérias-primas. A preparação de combustíveis foi subdividida em três processos: estocagem de combustíveis (1.1.2.1), preparação de combustíveis (1.1.2.2) e transporte de combustíveis (1.1.2.3).

4.1.3.2.1.1 Processo 1.1.1 - Preparação de matérias-primas

Inicialmente, as matérias-primas chamadas de primárias ou naturais como calcário, gesso e argilas são extraídas de jazidas, que preferencialmente se localizam próximas à unidade de produção de cimento. Após o processo de extração, esses materiais podem ser triturados na própria mina e posteriormente transportados até a fábrica de cimento, onde permanecerão estocados temporariamente, e em seguida serão homogeneizados e passarão por preparos adicionais. Bauxita, minério de ferro e areia são os chamados materiais corretivos, os quais podem ser necessários para adequação da composição química da mistura crua às exigências do processo e das especificações do produto desejado (KARSTENSEN, 2010).

As plantas de cimento tipicamente estão localizadas próximas aos locais de ocorrência desses materiais, uma vez que uma fração considerável em massa é perdida durante a decomposição do carbonato de cálcio (CaCO_3), com desprendimento de gás carbônico (CO_2) (USEPA, 1995).

As matérias-primas extraídas de minas ou lavras são transportadas para os trituradores primários e secundários, onde são fragmentadas em pedaços de 10 cm.

Após a trituração, as matérias-primas são misturadas e moídas juntas para produzir a farinha crua (SHREVE e BRINK, 2012, p. 138-146)

Após o processo de pré-homogeneização, as matérias-primas são secas e moídas no equipamento denominado moinho de cru, seguindo proporções pré-definidas e controladas, produzindo a farinha crua, que é estocada em silos para alcançar e manter a composição química uniforme necessária para ser introduzida no forno. São utilizadas de 1,5 a 1,6 toneladas de matérias-primas (farinha crua seca) para produzir 1 tonelada de produto queimado, denominado de clínquer (KARSTENSEN, 2010).

O cálcio é o elemento de maior concentração no cimento Portland e pode ser obtido a partir de matérias-primas calcárias (por exemplo, calcário, giz, marga, conchas marinhas e aragonita). Outros elementos incluídos na farinha crua são silício, alumínio e ferro, que podem ser obtidos de minérios e materiais como areia, xisto, argila e minério de ferro. Adicionalmente, gesso ou anidrita natural, ambas formas de sulfato de cálcio, são introduzidos ao processo durante as operações de moagem do cimento (USEPA, 1995).

Na fabricação do clínquer uma boa mistura crua normalmente consiste de calcários ricos em cálcio (>75% de carbonatos – calcário, greda, mármore, marga calcária), componentes argilosos ricos em alumínio, silício e ferro (marga argilosa, folhelho, argila) e componentes corretivos ricos em um dos quatro elementos principais como bauxita, minério de ferro, areia e pedra calcária de teor elevado. Esses elementos corretivos são utilizados em pequenas quantidades, apenas para ajustes da composição química da mistura crua, especificada pelo tipo de cimento que se deseja produzir. Materiais como cinzas volantes de carvão de centrais termoelétricas, escória de alto forno, areia de fundição, lodos de depuração, lamas de cal, catalisadores de craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC) de refinarias de petróleo, dentre outros, podem ser utilizados como componentes principais ou corretivos da mistura crua (KARSTENSEN, 2010).

No preparo de uma mistura crua apropriada levam-se em consideração as matérias-primas disponíveis, o desenho e exigências do processo, as especificações do produto e as considerações ambientais. Para a boa qualidade do produto e operação uniforme do forno é essencial a elaboração de uma mistura bem preparada, com adequada granulometria e composição química constante. A homogeneidade e

uniformidade da composição da mistura crua devem ser permanentemente controladas por meio de amostragens e análises químicas.

4.1.3.2.1.2 Processo 1.1.2 - Preparação de combustíveis

Os combustíveis incluem tipos convencionais, tais como carvão pulverizado, coque de petróleo (*petcoke*), óleo combustível pesado, gás natural e combustíveis alternativos no caso de coprocessamento (por exemplo, pneus, resíduos de óleo, plásticos e solventes) (USEPA, 2010).

A preparação de combustíveis inclui operações como trituração, secagem, moagem e homogeneização e unidades como silos e galpões de armazenamento para combustíveis sólidos, tanques para combustíveis líquidos, bem como dispositivos de transporte e sistemas de alimentação do forno (THE EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION, 1999, p. 126-134); (IRELAND, 2008).

Segundo Karstensen (2010), o tipo de combustível utilizado em uma fábrica de cimento (sólido, líquido ou gasoso) determina o projeto dos sistemas de armazenamento, preparo e queima, tanto para combustíveis fósseis convencionais quanto para os combustíveis alternativos de origem industrial.

Segundo a mesma fonte, a principal entrada de combustível deve ser escolhida de forma que as medições de alimentação sejam uniformes e confiáveis, bem como de combustão fácil e completa. Em geral, esse é o caso de combustíveis pulverizados, líquidos ou gasosos. Pode-se realizar uma entrada limitada de até 35% pela adição de materiais grosseiros em pontos específicos da alimentação.

O carvão ou o coque de petróleo moídos podem ser alimentados de forma pulverizada diretamente no queimador, podendo a fábrica adotar silos de estocagem de finos de carvão ou coque com sistemas de proteção contra fogo e explosão. O óleo combustível é estocado em tanques e precisa ser pré-aquecido à temperatura de 120 a 140°C para facilitar seu processo de combustão.

Combustíveis alternativos provenientes de fontes industriais podem exigir tratamento específico. Combustíveis gasosos, líquidos, pulverizados ou bem triturados podem ser injetados no forno de forma similar aos combustíveis fósseis. Já os materiais grosseiramente triturados ou volumosos podem ser alimentados no pré-aquecedor/pré-calcinador ou, mais raramente, no meio do forno rotativo. Por razões limitantes de processo, a depender do sistema do forno utilizado, a contribuição de

combustíveis volumosos para o consumo de calor total não deve ultrapassar 15 a 30%.

Esses combustíveis alternativos são geralmente preparados e misturados em outras empresas, chamadas de blendeiras, que são projetadas para esse propósito. Nas fábricas de cimento existem somente as áreas de armazenagem e alimentação desses combustíveis. As plantas de cimentos que operam com combustíveis alternativos são projetadas como sendo plantas multipropósitos, podendo operar com uma ampla variedade de resíduos.

Um aspecto importante a ser considerado é que a indústria do cimento, por meio da prática do coprocessamento, assume papel de potencial destaque, pois pode contribuir para o atendimento de uma necessidade crescente pela destinação ambientalmente adequada para resíduos de diversos processos industriais.

O coprocessamento é uma técnica de incorporação de resíduos, durante o processo de fabricação de clínquer, quando ocorre a destruição térmica destes materiais a altas temperaturas de forma eficiente (TOCCHETTO, 2005). Tal procedimento é realizado em fornos de clínquer licenciados para esta finalidade, obtendo o aproveitamento de conteúdo energético e da fração mineral como matéria-prima, sem a geração de novos resíduos.

Segundo Maringolo (2001), a destruição térmica de resíduos orgânicos consiste em aquecê-los até a temperatura de destruição, e mantê-los nessa temperatura por um determinado tempo, fornecendo a quantidade necessária de oxigênio para destruí-los totalmente.

As elevadas temperaturas disponíveis no forno e no pré-aquecedor, o tempo de residência dos gases no forno, e o grau de turbulência associados à natureza química das matérias-primas utilizadas, tornam o processo o mais indicado para o reaproveitamento destes resíduos (NETO, 2008).

No Brasil, o assunto é regulado pela Resolução nº 264 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece duas classes de resíduos que podem ser coprocessados em processos industriais: os resíduos que podem substituir, em parte, a matéria-prima, caso tenham características similares às dos componentes normalmente empregados na produção de clínquer; e os resíduos com alto poder energético que podem ser usados como combustíveis secundários.

Geralmente, ambos os tipos de resíduos são tratados em fornos rotativos de clínquer, devido às características do processo, tais como o longo tempo de residência

e as altas temperaturas alcançadas que garantem a destruição dos resíduos e permitem que alguns metais pesados se incorporem à estrutura do clínquer (ROCHA, LINS e ESPIRITO SANTO, 2011).

Segundo a resolução acima, o coprocessamento de resíduos em fornos de produção de clínquer é a técnica de utilização de resíduos sólidos industriais a partir do processamento desses como substituto parcial de matéria-prima e/ou de combustível no sistema forno de produção de clínquer, na fabricação de cimento. O objetivo é a substituição de um combustível primário e/ou matéria-prima por resíduos, a partir da reciclagem de resíduos, gerando energia e material. Importante ressaltar que não é permitido o coprocessamento de resíduos domiciliares brutos, de serviços de saúde, radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins (CONAMA, 1999).

Os resíduos utilizados para esta finalidade são denominados de combustíveis e matérias-primas alternativas (AFR, do inglês *alternative fuels and raw materials*). Para avaliar a possibilidade da utilização de AFR no coprocessamento é necessária a análise de suas características físico-químicas. Desta forma pode ser determinado como será feita a utilização destes resíduos, se como substituto parcial de matéria-prima ou combustível (KARSTENSEN, 2008). Em alguns lugares, como no Estado de São Paulo, esse conjunto de materiais é denominado combustível derivado de resíduo (CDR).

Atualmente são processados em cimenteiras os seguintes tipos de resíduos (FERREIRA, 2014): resíduos vegetais, pneus, resíduos siderúrgicos e de alumínio, solventes, borras de tinta, plásticos, solos contaminados, óleos e substâncias oleosas, catalisadores, resinas, colas, látex, EPI contaminados, pneus, madeiras contaminadas, tintas, solventes, borrachas, plásticos, lodos de estação de tratamento de efluentes (ETE), papel e refratários.

Os resíduos que apresentam poder calorífico elevado podem ser utilizados como fonte energética, fornecendo energia térmica ao processo durante a sua combustão, substituindo assim parte do combustível gasto no processo. Também podem ser incorporados ao processo de coprocessamento, resíduos que apresentem composição química compatível com a do clínquer, podendo assim substituir algumas matérias-primas que seriam utilizadas no processo (GTZ-HOLCIM, 2006).

A utilização de resíduos industriais como combustível complementar aos convencionais permite que a indústria cimenteira reduza seus custos operacionais com a aquisição de suprimento de combustíveis.

Os avanços tecnológicos e as regulamentações sobre a forma de tratamento de resíduos industriais têm contribuído muito para aumentar a prática do coprocessamento. Assim, para diminuir o consumo de energia durante o processo, e também mitigar as emissões de gases nocivos ao meio ambiente, novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas e incorporadas ao processo de fabricação das cimenteiras. Com a introdução de novos equipamentos, como torres de pré-aquecedores e pré-calcinadores com queima secundária de combustível, presentes nos fornos modernos, o processo permite que resíduos oriundos de diversos segmentos industriais possam ser coprocessados sem causar impacto significativo ao meio ambiente, mantendo a qualidade do cimento produzido, e com grande redução de energia (MANTEGAZZA, 2004).

O Brasil possui atualmente 36 plantas licenciadas que realizam a atividade de coprocessamento em fornos de clínquer, como mostrado na Figura 31 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2017b).

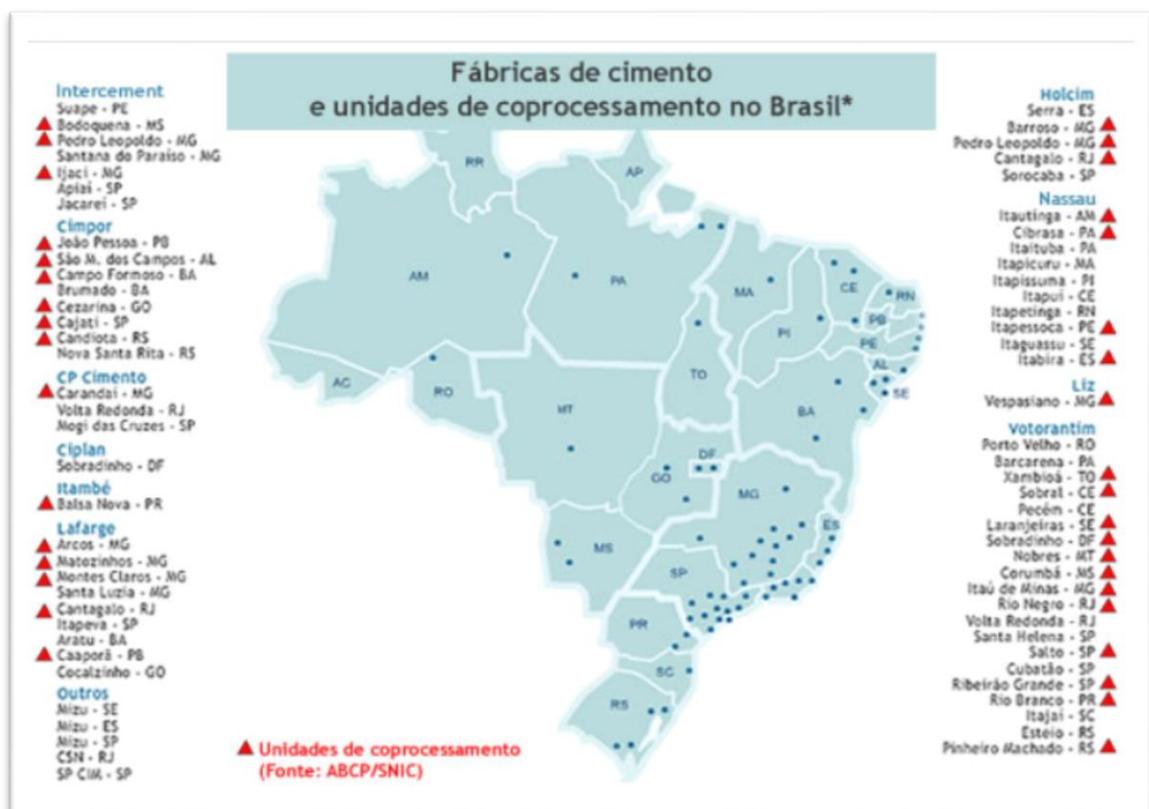


Figura 31. Unidades de coprocessamento no Brasil em 2017 (Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2017b).

Ao mesmo tempo, deve-se considerar também que a combustão de resíduos, se não for realizada de forma adequada no que diz respeito às características tecnológicas e operacionais da planta, pode apresentar resultados prejudiciais à fabricação de cimento, além de poder configurar significativo impacto ambiental e risco à saúde das pessoas, com a formação de poluentes perigosos, como dioxinas e furanos, que apresentam uma taxa de degradação no ambiente muito baixa, sendo, por esse motivo classificados como poluentes orgânicos persistentes (POPs) (KARSTENSEN, 2008).

Neste sentido, deve-se promover a discussão considerando os benefícios trazidos pelo coprocessamento, dentre os quais se destacam o potencial para melhorar o desempenho econômico da indústria cimenteira, uma vez que representa menor demanda por matérias-primas virgens e combustíveis fósseis, e a possibilidade de destinação ambientalmente adequada de resíduos, como também devem ser discutidos os riscos associados e as principais medidas que devem ser adotadas para não comprometer a sustentabilidade do processo como um todo (FERREIRA, PHILIPPI e NUNES, 2010).

4.1.3.2.2 Processo 1.2 - Produção do clínquer

Este processo não necessitou ser decomposto, uma vez que já se encontrava em último nível de decomposição hierárquica e sua decomposição já resultava em fontes de poluição.

O clínquer de cimento *Portland* é produzido a partir da mistura de matérias-primas que possui como elementos principais o cálcio, silício, alumínio e ferro. Misturados em proporções específicas, novos minerais com propriedades hidráulicas (as chamadas fases do clínquer) são formados no processo de aquecimento até a sinterização (ou clinquerização) a cerca de 1450°C. O clínquer possui como seus principais componentes minerais os silicatos, aluminatos e ferritas de cálcio (KARSTENSEN, 2010):

Silicato tri-cálcico	$3 \text{ CaO} \times \text{SiO}_2$	C_3S Alita
Silicato di-cálcico	$2 \text{ CaO} \times \text{SiO}_2$	C_2S Belita
Aluminato tri-cálcico	$3 \text{ CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A Aluminato
Ferro-aluminato tetra-cálcico	$4 \text{ CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF Ferrita

A farinha crua é alimentada no forno, sendo submetida ao processo de tratamento térmico, o qual é subdividido em etapas consecutivas compostas por secagem/pré-aquecimento, calcinação (liberação de CO_2 do calcário) e sinterização ou clinquerização, que ocorre em temperaturas de até 1450°C . A farinha é aquecida a uma temperatura entre 810 e 830°C antes de entrar no forno, onde 30% da calcinação (liberação do CO_2 dos carbonatos) é concluída. Os gases de exaustão do pré-aquecedor saem a uma temperatura de 300 a 360°C , os quais são posteriormente utilizados no moinho de cru para a secagem de matérias-primas. O processo de clinquerização pode ser resumido em quatro etapas (KARSTENSEN, 2010):

1. Secagem e pré-aquecimento (20 - 900°C): ocorre liberação de água livre e combinada;
2. Calcinação (600 - 900°C): ocorre liberação de CO_2 e reações iniciais formando minerais do clínquer e fases intermediárias;
3. Sinterização ou clinquerização (1250 - 1450°C): ocorre formação de silicatos de cálcio e fase líquida;
4. Resfriamento interno do forno (1350 - 1200°C): ocorre cristalização do aluminato de cálcio e ferro-aluminato de cálcio.

O combustível (como carvão, coque de petróleo, gás, óleo combustível e combustíveis alternativos) é queimado diretamente no forno rotativo, mantido a 2000°C , para garantir que as matérias-primas atinjam temperaturas de até 1450°C . A decomposição química do calcário gera tipicamente 60% das emissões totais de dióxido de carbono (CO_2) do processo de fabricação de cimento, enquanto que a queima de combustível gera o CO_2 restante. O forno é um tubo de metal revestido de tijolos de 3 - 5 m de largura e 30 a 60 m de comprimento que gira cerca de 3 - 5 vezes por minuto (SHREVE e BRINK, 2012); (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 2017).

O forno apresenta uma razão de comprimento/diâmetro entre 10 e 40 . Neste processo a combinação da leve inclinação ($2,5$ a $4,5\%$) com a rotação lenta ($0,5$ a $4,5$ rotações por minuto) permite que o material seja transportado de forma suficientemente lenta para que os processos de conversão térmica necessários ocorram (KARSTENSEN, 2010).

A matéria-prima flui através de zonas progressivamente mais quentes do forno em direção à chama. O calor intenso provoca reações químicas e físicas que

transformam a farinha de matérias-primas em em clínquer (SHREVE e BRINK, 2012); (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 2017).

Esses fornos podem possuir pré-aquecedores em suspensão ou pré-calcinadores, a depender do desenho do processo industrial. Nos fornos com pré-aquecedores em suspensão, a farinha é alimentada no topo de um conjunto de ciclones em série, até chegar aos ciclones inferiores, em contracorrente com os fluxos de gases quentes de exaustão do forno rotativo, o que proporciona contato direto e troca de calor eficiente entre as partículas sólidas e os gases quentes. Uma representação desse sistema é apresentada na Figura 32 (KARSTENSEN, 2010).

Segundo o mesmo autor, o calor de exaustão do forno é reaproveitado no processo de secagem da farinha crua, combustíveis sólidos ou adições de minerais. Os gases exauridos desses sistemas são posteriormente tratados através de precipitadores eletrostáticos ou sistemas de filtro manga e em seguida são liberados para a atmosfera.

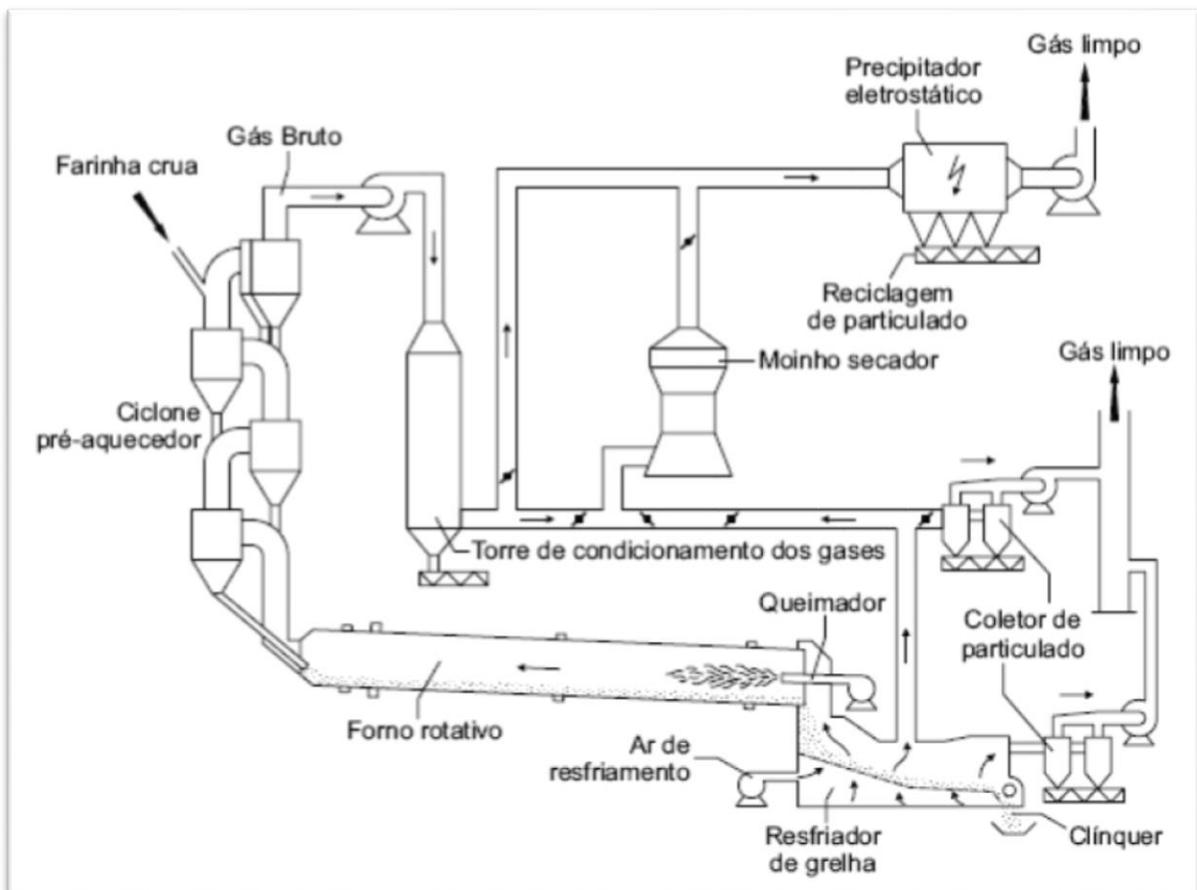


Figura 32. Representação de forno rotativo com ciclone pré-aquecedor e coletor de material particulado dos gases.

Fonte: Karstensen (2010).

Pode-se aumentar consideravelmente a capacidade de produção no processo com a utilização de forno com pré-calcinador, que consiste em um segundo dispositivo de combustão localizado entre o pré-aquecedor e o forno rotativo. No pré-calcinador, até 60% do combustível total do sistema do forno pode ser queimado. A farinha quente, a cerca de 880°C, sai do pré-calcinador com um nível de calcinação de cerca de 90% e entra no forno rotativo.

Há casos em que a farinha é alimentada diretamente no forno rotativo, onde um sistema de correntes na parte de entrada do forno permite a troca de calor entre os gases de combustão quentes e o material alimentado no forno. Os fornos secos longos possuem alto consumo de calor e alta circulação de poeira, exigindo a utilização de um sistema de ciclones de despoeiramento separados do forno.

Finalmente, Karstensen (2010) aponta que três zonas de temperaturas podem ser distinguidas em um forno de clínquer:

- Zona 1 - Alimentação da farinha: a faixa de temperatura varia de ambiente a 600°C. Nessa região, a umidade contida na matéria-prima é evaporada.
- Zona 2 – Calcinação: A calcinação ocorre quando os gases quentes do forno dissociam o carbonato de cálcio, contido no calcário, em óxido de cálcio e dióxido de carbono. Nessa região do forno, o intervalo de temperaturas é entre 600 e 900°C.
- Zona 3 – Sinterização: a zona de queima é a parte mais baixa e mais quente do forno. Nela, as temperaturas ultrapassam 1500°C e ocorre a reação do óxido de cálcio com silicatos, ferro e alumínio, contidos nas matérias-primas, para formação do clínquer.

A Figura 33 mostra o esquema do gradiente de temperatura e tempos de residência nas zonas do forno de clínquer (PAULA, 2009).

Conseqüentemente, as propriedades do clínquer (e do cimento produzido a partir dele) são determinadas principalmente pela sua composição mineral e sua estrutura. Elementos contidos nas matérias-primas como álcalis, enxofre e cloretos são volatizados nas altas temperaturas do forno, resultando em um ciclo interno de vaporização e condensação (elementos circulantes). Grande parte desses elementos

As principais características que tornam os fornos de clínquer um processo apropriado para o aproveitamento dos resíduos são (MARÍNGOLO, 2001); (NETO, 2008):

- Alta temperatura e tempo de residência: As matérias-primas, durante a produção do clínquer, precisam alcançar elevadas temperaturas dentro do forno (1400 a 1500°C), e para que esta temperatura seja atingida, a temperatura da chama deve estar próxima de 2000°C. O tempo de residência dos gases no forno varia de 10 a 45 segundos. Desta forma, os fornos de clínquer operam em condições que garantem a destruição dos compostos orgânicos.
- Alta turbulência dos gases: É o fenômeno que promove a mistura do combustível com o oxigênio, favorecendo uma combustão mais eficiente.
- Ambiente alcalino natural: Durante o processo de produção do clínquer, o ambiente se apresenta naturalmente alcalino, pois há o processo de calcinação do CaCO_3 (carbonato de cálcio), gerando CaO (óxido de cálcio), que age como neutralizador dos gases ácidos que podem vir a serem produzidos durante a combustão, como o SO_2 e HCl . Desta forma, na medida em que os gases ácidos transitam no sistema, são neutralizados pelo material alcalino do forno durante a produção do clínquer.
- Processo sem geração de cinzas: Como se trata de um sistema fechado, toda a cinza gerada pela queima dos resíduos é reciclada e realimentada no forno junto à farinha.

O processo de coprocessamento é realizado durante a etapa de clínquerização. Nesta etapa, ocorre a transformação mais radical das matérias-primas para a produção de cimento. A farinha, produzida pela moagem das matérias-primas, sofre um processo de pré-calcinação, na torre de ciclones, aonde ocorre a descarbonatação do material. A seguir, o material é inserido no forno rotativo de clínquer, para terminar a etapa de descarbonatação. Após isto, o material entra na fase líquida, formando o clínquer, que sai em brasa do forno e passa para a etapa de resfriamento, para então ser armazenado no silo de clínquer (KARSTENSEN, 2008).

Segundo Mantegazza (2004), no coprocessamento, os pontos de alimentação dos resíduos no forno são, basicamente: juntamente com a farinha (1); na entrada do forno (2); no maçarico principal (3); e no pré-calcinador (4), conforme indicado na Figura 34.

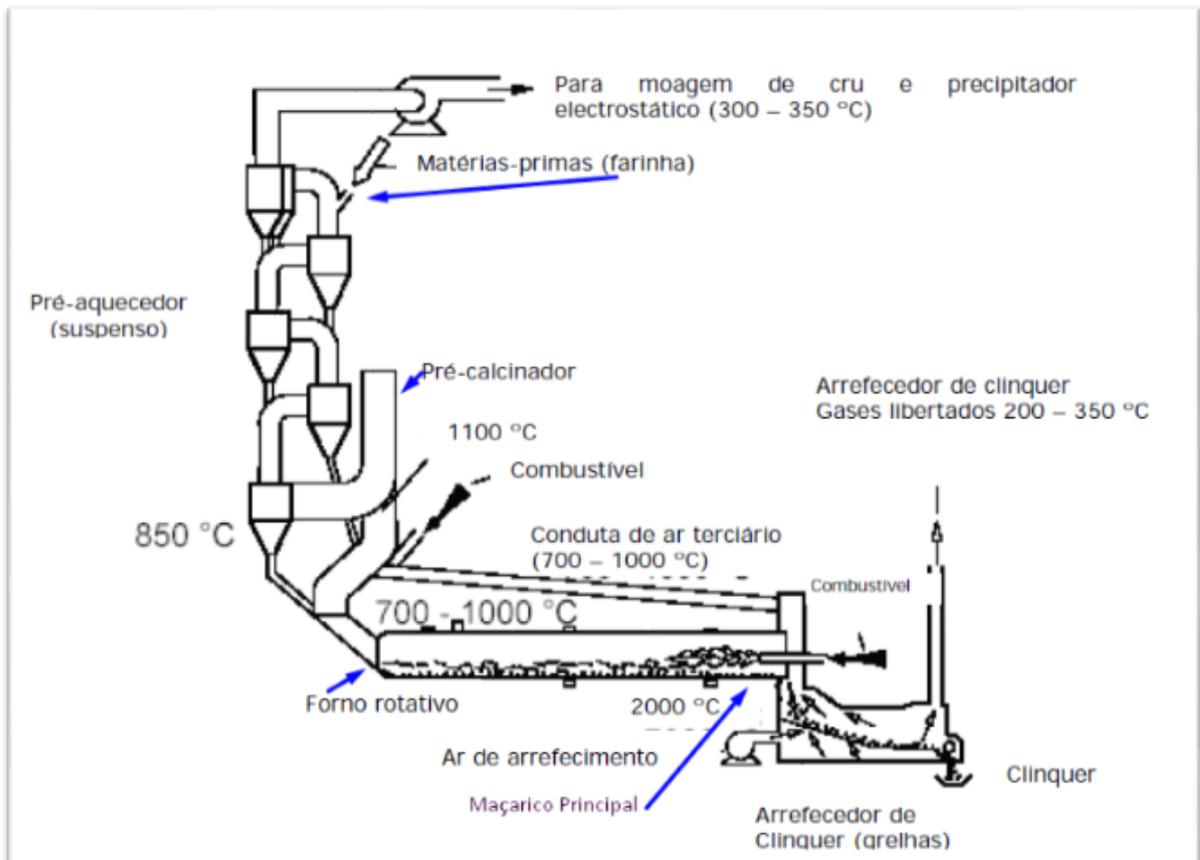


Figura 34. Pontos de alimentação de resíduos no sistema de coprocessamento (Fonte: Mantegazza, 2004).

Do forno, o clínquer quente é resfriado usando grandes quantidades de ar, parte do qual pode servir como ar de combustão. Os resfriadores são essenciais para as características do clínquer, que por sua vez define o desempenho do cimento. Neste processo, o ar de combustão é pré-aquecido, minimizando assim a perda total de energia do sistema (EUROPEAN UNION, 2013b); (SHREVE e BRINK, 2012).

O calor recuperado além de melhorar a eficiência térmica do sistema, reduz o consumo de energia. Uma eficiência térmica acima de 70%, considerada ideal, é conseguida com a redução da vazão do ar de resfriamento, a fim de que a temperatura do ar secundário e terciário seja a maior possível. O ar quente resultante da troca térmica é utilizado como ar secundário de combustão, ar terciário no pré-calcinador e na secagem das matérias-primas (KARSTENSEN, 2010).

O clínquer sai do forno rotativo entre 1200 e 1250°C, devendo ser rapidamente resfriado a 100-200°C, de forma a permitir seu transporte para armazenamento intermediário e manuseio. O resfriamento rápido impede que aconteçam reações

químicas indesejadas no clínquer, o que poderia afetar sua qualidade e a moabilidade. São utilizados três tipos principais de resfriadores de clínquer (KARSTENSEN, 2010):

- resfriadores rotativos (tubos): esses resfriadores são instalados abaixo da saída do forno rotativo, fazendo uso do mesmo princípio que o forno para a queima de clínquer, contudo ele utiliza troca de calor inversa com o ar de resfriamento conduzido em contracorrente ao fluxo de clínquer quente;
- resfriadores planetários ou do tipo satélite: na extremidade da descarga do forno rotativo há 9 a 11 tubos dispostos perifericamente, onde o clínquer quente entra nos tubos através dos pórticos de entrada e os atravessa em contracorrente ao fluxo de ar frio. Esses resfriadores são suscetíveis à ocorrência de desgaste e efeitos de choque térmico, e de forma similar aos resfriadores tubulares, as temperaturas de saída do clínquer podem ser ainda muito elevadas sem um resfriamento adicional. Uma vez que o ar de exaustão dos resfriadores planetários não pode ser extraído para combustão na queima secundária, esses resfriadores não são adequados para uso em fornos com pré-calcinadores.
- resfriadores de grelha: são os resfriadores mais utilizados e consiste no resfriamento através de fluxo forçado de ar soprado através de uma camada de clínquer que se movimenta lentamente sobre uma grelha de chapas perfuradas, que se movimentam ciclicamente deslocando o clínquer. A zona total de resfriamento é formada por uma zona de recuperação e uma zona de pós-resfriamento. O ar pré-aquecido proveniente da zona de recuperação é encaminhado para combustão do combustível do queimador principal (ar secundário) e do combustível do pré-calcinador (ar terciário). Da zona de pós-resfriamento sai o ar quente que pode ser reaproveitado na secagem das matérias-primas e do combustível. Com todas essas possibilidades de reaproveitamento de calor, o resfriador de grelha proporciona maior eficiência e flexibilidade aos fornos modernos.

4.1.3.2.3 Processo 1.3 - Preparação de cimento

Este processo foi decomposto em dois processos: moagem de cimento (1.3.1) e Carregamento de cimento (1.3.2). Não foi necessário proceder com a decomposição desses processos, uma vez que já foi possível identificar as fontes de poluição.

4.1.3.2.3.1 Processo 1.3.1 - Moagem de cimento

No cimento blendado, as adições minerais, que podem ser de origem natural ou industrial, como por exemplo gesso, anidrita (sulfato de cálcio) e calcário, podem ter necessidade de serem secas, trituradas ou moídas antes de serem incorporadas ao processo de fabricação de cimento (SHREVE e BRINK, 2012).

O cimento *Portland* é produzido por moagem conjunta do clínquer com uma pequena percentagem de gesso natural ou industrial, ou anidrita (sulfato de cálcio). A adição de até 5% de materiais como farinha crua, calcário ou poeira de filtro é permitida na Europa. No caso dos cimentos compostos, parte do cimento é composto por adições minerais provenientes de fontes naturais ou industriais. Tais adições conferem propriedades hidráulicas (escória de alto forno), pozolânica (rochas vulcânicas, cinzas volantes de carvão, microsilica e argila calcinada) ou ainda de preenchimento (*filler* calcário - pó de rocha calcária). A composição dos cimentos compostos é especificada nas normas nacionais de cimento, as quais geralmente incluem também as especificações de qualidade para cada uma das adições minerais utilizadas (KARSTENSEN, 2010).

No caso de cimentos blendados ou compostos, as adições minerais podem ser integradas na moagem de clínquer ou moídas separadamente e posteriormente incorporadas ao cimento *Portland*. Os diferentes tipos de cimentos produzidos são conduzidos em um sistema de circuito fechado aos silos de armazenamento, de onde seguem para ensacamento e expedição (EUROPEAN UNION, 2013b).

4.1.3.2.3.2 Processo 1.3.2 - Carregamento de cimento

A maior parte do cimento produzido nas fábricas é expedido na forma a granel, sendo uma menor parte embalada em sacos e disposta sobre *pallets* para o transporte. Uma imagem de uma ensacadeira automática e de um sistema de carregamento a granel é apresentada na Figura 35 (HAVER & BOECKER, 2017).



**Figura 35. Imagem de ensacadeira pneumática (esq.) e sistema de carregamento a granel (dir.).
Fonte: Haver e Boecker (2017).**

4.1.3.3 Passo 3 - Identifique as fontes de poluição

Os processos em último nível de decomposição hierárquica foram selecionados de forma a identificar a ocorrência de fontes de poluição com: (i) emissões para o ar; (ii) lançamentos em água; (iii) lançamentos em terra; e/ou (iv) geração de resíduos. Cada fonte foi identificada com um código único, para garantir a rastreabilidade das informações ao longo da análise.

Como resultado, a estrutura preliminar do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP) foi obtida, como mostrado na Figura 36. As caixas com borda contínua representam os processos, enquanto as caixas com bordas pontilhadas representam as fontes de poluição identificadas para um determinado processo no último nível de decomposição hierárquica. Foram identificadas 35 fontes de poluição, sendo 24 fontes referentes à preparação de materiais, 4 fontes associadas à produção do clínquer e 7 fontes referentes à preparação de cimento.

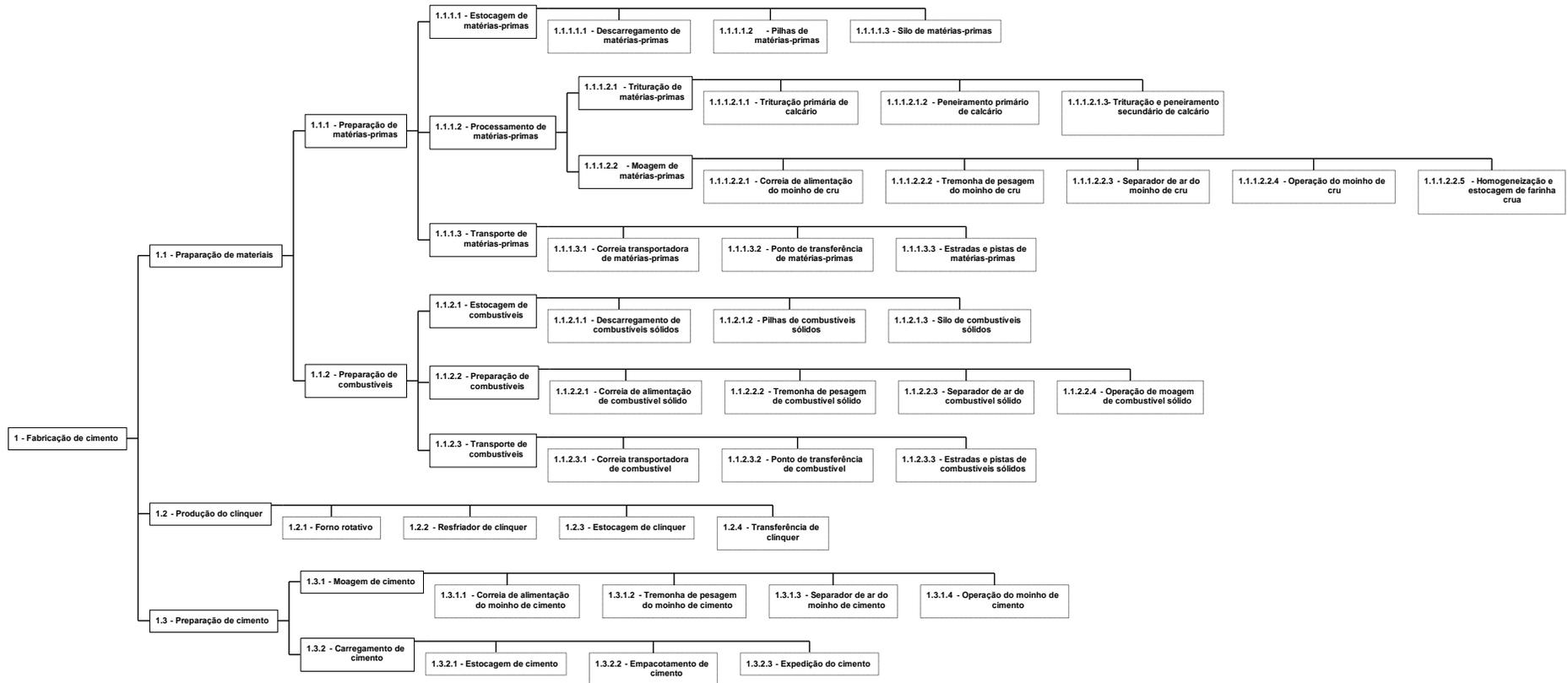


Figura 36. Estrutura preliminar do Diagrama de Fontes de Poluição para a fabricação de cimento Portland.
 Fonte: elaboração própria.

4.1.3.4 Passo 4 - Descreva a fonte de poluição

As fontes de poluição identificadas na Etapa 3 foram agrupadas considerando critérios de similaridade e foram descritas considerando literatura especializada, especialmente European Union (2013b) e USEPA (1995), e complementarmente USEPA (2010), Karstensen (2010), Shreve e Brink (2012) e World Cement Association (2017), conforme mostrado a seguir:

- Fontes 1.1.1.2.1.1 Trituração primária de calcário, 1.1.1.2.1.2 Peneiramento primário de calcário e 1.1.1.2.1.3 Trituração e peneiramento secundário de calcário.
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: MP.
 - Medidas de prevenção da poluição: enclausuramento/encapsulamento de operações geradoras de poeira, manutenção adequada e completa dos equipamentos e utilização de dispositivos automáticos.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: filtro de tecido (FT).
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: USEPA AP42 CH11.6 – MP (kg/Mg, considerando filtro de tecido, para as fontes listadas acima): 0.00050, 0.00011 e 0.00016, respectivamente. Monitoramento periódico pode ser adotado, se necessário.

- Fontes 1.1.1.1.1 Descarregamento de matérias-primas, 1.1.1.1.2 Pilhas de matérias-primas, 1.1.1.3.3 Estradas e pistas de matérias-primas, 1.1.2.1.1 Descarregamento de combustíveis sólidos, 1.1.2.1.2 Pilhas de combustíveis sólidos e 1.1.2.3.3 Estradas e pistas de combustíveis sólidos.
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: material particulado (MP) (emissões difusas).
 - Medidas de prevenção da poluição: proteção de pilhas abertas contra o vento, ajuste da altura de descarregamento com a altura variável da pilha, se possível automaticamente, redução da velocidade de descarregamento, aspersão de pilhas, utilização de eliminadores químicos de poeira, pavimentação, aspersão de estradas, limpeza industrial.

- Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: Não aplicável (N/A).
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: amostradores convencionais tipo Hi-Vol, com ativadores de direção do vento podem ser usados para medir emissões de poeira.
- Fontes 1.1.1.3.1 Correia transportadora de matérias-primas, 1.1.1.3.2 Ponto de transferência de matérias-primas, 1.1.2.3.1 Correia transportadora de combustível, 1.1.2.3.2 Ponto de transferência de combustível e 1.2.4 Transferência de clínquer.
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: MP.
 - Medidas de prevenção da poluição: cobertura ou fechamento de correias transportadoras e pontos de transferência, manutenção adequada e completa dos equipamentos, uso de dispositivos automáticos e uso de correias transportadoras com alturas ajustáveis.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: filtro de tecido em pontos de transferência, se necessário.
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: -.
- Fontes 1.1.1.2.2.1 Correia de alimentação do moinho de cru, 1.1.1.2.2.2 Tremonha de pesagem do moinho de cru, 1.1.1.2.2.3 Separador de ar do moinho de cru, 1.1.1.2.2.4 Operação do moinho de cru, 1.1.2.2.1 Correia de alimentação de combustível sólido, 1.1.2.2.2 Tremonha de pesagem de combustível sólido, 1.1.2.2.3 Separador de ar de combustível sólido, 1.1.2.2.4 Operação de moagem de combustível sólido, 1.3.1.1 Correia de alimentação do moinho de cimento, 1.3.1.2 Tremonha de pesagem do moinho de cimento, 1.3.1.3 Separador de ar do moinho de cimento e 1.3.1.4 Operação do moinho de cimento.
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: MP.

- Medidas de prevenção da poluição: enclausurar/encapsular operações geradoras de poeira, realizar manutenção adequada e completa dos equipamentos, uso de dispositivos e sistemas automáticos e realização de limpeza a vácuo móvel e estacionária.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: precipitador eletrostático (PE), filtro de tecido (FT) ou filtros híbridos; resíduos gerados: material particulado resultante de unidades de limpeza de gases residuais.
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: USEPA AP42 CH11.6 – MP (kg/Mg, considerando filtro de tecido, para as fontes listadas acima): 0.0016, 0.010, 0.016, 0.0062, 0.0016, 0.010, 0.016, 0.0062, 0.0012, 0.0047, 0.014 e 0.0042, respectivamente. Monitoramento periódico pode ser adotado, se necessário.
- Fontes 1.1.1.1.3 Silo de matérias-primas, 1.1.1.2.2.5 Homogeneização e estocagem de farinha crua, 1.1.2.1.3 Silo de combustíveis sólidos, 1.2.3 Estocagem de clínquer e 1.3.2.1 Estocagem de cimento.
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: MP.
 - Medidas de prevenção da poluição: manutenção adequada e completa dos equipamentos, uso de dispositivos automáticos e realização de limpeza a vácuo móvel e estacionária.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: filtro de tecido.
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: -.
- Fonte 1.2.1 Forno rotativo (EUROPEAN UNION, 2013b):
 - Aspecto ambiental 1: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: material particulado (MP), partículas inaláveis (MP₁₀ e MP_{2,5}), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), compostos orgânicos totais, dibenzodioxinas e dibenzofuranos policlorados (PCDD e PCDF), metais e seus compostos, cloreto de hidrogênio (HCl) e fluoreto de hidrogênio (HF),

amônia (NH₃), hidrocarbonetos poliaromáticos (PAH), benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX) e outros poluentes orgânicos (clorobenzeno, PCB (bifenila policlorada) e cloronaftalenos).

- Medidas de prevenção da poluição:

(i) MP: manutenção adequada e completa dos equipamentos; otimização do controle de processo, incluindo controle automático por meio de computadores, e utilização de sistemas gravimétricos modernos de alimentação de combustível sólido.

(ii) NO_x: utilização de queimadores com baixa emissão de NO_x (low-NO_x), adição de mineralizadores para melhorar a capacidade de queima da farinha crua (clínquer mineralizado), combustão em estágios em combinação com pré-calcinadores, utilização de mistura otimizada de combustíveis e otimização de processo.

(iii) SO₂: otimização do processo de queima de clínquer, distribuição uniforme da farinha quente no tubo de elevação do forno, prevenção de condições redutoras no processo de queima e escolha adequada de matérias-primas e combustíveis;

(iv) CO: seleção, quando possível, de matérias-primas com baixo teor de matéria orgânica e melhoria na combustão (otimização da alimentação de combustível, propriedades e configuração do queimador, temperatura de combustão e tempo de residência).

(v) COT: matérias-primas naturais ou residuais com alto teor de compostos orgânicos voláteis (COV) não devem, se possível, ser alimentadas no sistema do forno através da rota de alimentação de matérias-primas e combustíveis com alto teor de halogênios não devem ser usados em queima secundária.

(vi) HCl e HF: uso de matérias-primas e combustíveis contendo baixo teor de cloro e de flúor.

(vii) PCDD e PCDF: operação suave e estável do forno, aplicando a otimização de controle de processos e o uso de sistemas modernos de alimentação de combustível; minimização do uso de combustível por meio de pré-aquecimento e pré-calцинаção; seleção cuidadosa e controle de substâncias que entram no forno com seleção e uso de matérias-primas homogêneas e combustíveis com baixo conteúdo de enxofre, nitrogênio,

- cloro, metais e compostos orgânicos voláteis, se possível; resfriamento rápido dos gases de exaustão do forno a uma temperatura inferior a 200 °C; limitar ou evitar o uso de resíduos contendo materiais clorados orgânicos como substitutos de matérias-primas; não utilizar resíduo na alimentação de combustível durante as operações de partida e de parada; e monitoramento e estabilização de parâmetros críticos do processo; e
- (viii) metais: devem ser evitados materiais com alto teor de metais voláteis, especialmente mercúrio (Hg) e tálio (Tl), no sistema do forno.
- Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada:
 - (i) MP: precipitador eletrostático (PE), filtro de tecido (FT) ou filtros híbridos; resíduos gerados: material particulado do sistema de despoejamento;
 - (ii) NO_x: redução catalítica seletiva (SCR), redução não-catalítica seletiva (SNCR) e SNCR de alta eficiência;
 - (iii) SO₂: adição de absorvente, lavador úmido e carvão ativado;
 - (iv) COT: adsorção em carvão ativado pode ser considerada, se ocorrerem concentrações elevadas;
 - (v) HCl e HF: injeção de absorvente ou técnicas de lavadores de gases. Grande parte do flúor é capturado pelo clínquer e o restante é retirado como fluoreto de cálcio (CaF₂) juntamente com o material particulado.
 - (vi) PCDD e PCDF: adsorção em carvão ativado, se ocorrerem concentrações elevadas. O ponto de atenção é o resíduo perigoso gerado.
 - (vii) metais: os metais não voláteis são, em grande medida, capturados dentro do clínquer e o restante é retirado juntamente com o material particulado. Uma maneira de minimizar as emissões de mercúrio é reduzir a temperatura de exaustão. Outra opção é a adsorção de mercúrio (metálico e iônico) com injeção de carvão ativado em pó. O ponto de atenção é o resíduo perigoso gerado.
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental:
 - (i) método de estimativa: USEPA AP42 CH11.6 (MP, SO₂, NO_x, CO, CO₂, e COT) (USEPA, 1995);

(ii) monitoramento: contínuo (operação do forno (pressão, temperatura, teor de O₂, CO, NO_x e SO₂), e emissões atmosféricas (volume de exaustão, umidade, temperatura, MP, O₂, CO, NO_x e SO₂)) e monitoramento periódico (COT, HCl, HF, NH₃, PCDD/ PCDF, metais e seus compostos, e sob condições especiais de operação BTX (benzeno, tolueno, xileno), HAP (hidrocarbonetos poliaromáticos) e outros poluentes orgânicos (por exemplo, clorobenzenos, PCB (bifenilas policlorados), cloronaftalenos).

É importante enfatizar que o monitoramento de CO é especialmente crítico quando se utilizam precipitadores eletrostáticos ou filtros híbridos devido a riscos de explosão. Neste caso, quando um nível crítico de CO é alcançado, o equipamento de controle ambiental deve ser desligado, o que, dependendo do tempo, pode levar a um aumento significativo na emissão de material particulado. Por esse motivo, a concentração de CO deve ser monitorada continuamente e as medidas devem ser tomadas de forma a causar o mínimo possível de interrupção na operação do PE ou filtros híbridos (por exemplo, intervalos entre 1-29 minutos por ano, respectivamente <0,001-0,009% da operação total do forno). Em unidades onde resíduo é coprocessado, a instalação de estação de monitoramento da qualidade do ar pode ser necessária, especialmente onde há residências próximas a planta industrial.

- Aspecto ambiental 2: geração de resíduo.
- Identificação do resíduo: MP ((Diversos (depende de matérias-primas, combustíveis e resíduos alimentados no forno rotativo));
- Medidas para não geração do resíduo ou sua redução: ver medidas de prevenção aplicáveis ao forno rotativo.
- Destinação do resíduo: reciclagem interna. O material particulado coletado pode ser reciclado de volta aos processos de produção sempre que possível. Esta reciclagem pode ocorrer diretamente no forno, na alimentação do forno ou pela mistura com produtos de cimento acabado.

- Fonte 1.2.2 Resfriador de clínquer:
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar.
 - Poluentes gerados: MP.
 - Medidas de prevenção da poluição: manutenção adequada e completa do equipamento e uso de dispositivos automáticos.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: precipitador eletrostático (PE), filtro de tecido (FT) ou filtros híbridos; resíduos gerados: material particulado do sistema de despoeiramento.
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: monitoramento periódico pode ser aplicado, se necessário.

- Fonte 1.3.2.2 Empacotamento de cimento e 1.3.2.3 Expedição do cimento.
 - Aspecto ambiental: emissões para o ar
 - Poluentes gerados: MP
 - Medidas de prevenção da poluição: manutenção adequada e completa dos equipamentos, uso de dispositivos automáticos, limpeza a vácuo móvel e estacionária e uso de tubos de enchimento flexíveis para processos de expedição e carregamento, equipados com um sistema de captação de material particulado.
 - Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: filtro de tecido.
 - Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: monitoramento periódico pode ser aplicado, se necessário.

Um aspecto ambiental comum a todas as fontes mencionadas acima é a emissão de ruído (por exemplo, tremonhas, quaisquer operações que envolvam fratura, trituração, moagem e peneiramento de matérias-primas, combustíveis, clínquer e cimento, exaustores, sopradores e vibrações de duto) que, em geral, pode ser caracterizado da seguinte forma:

- Aspecto ambiental: emissões de ruído
- Poluentes gerados: ruído

- Medidas de prevenção da poluição: manutenção regular de equipamentos de produção e controle.
- Medidas ou equipamento/sistema de controle da poluição e geração de resíduos associada: isolamento acústico de equipamentos; barreiras de ruído naturais, como edifícios, paredes, árvores ou arbustos.
- Método de estimativa de emissão ou equipamento/sistema de monitoramento ambiental: ISO 1996-1:2016 e ISO 1996-2:2017.

No que diz respeito à gestão de resíduos, os principais resíduos gerados são materiais particulados provenientes dos equipamentos de controle de poluição do ar. Em geral, o MP coletado pode ser reciclado de volta aos processos de produção, sempre que possível. Esta reciclagem pode ocorrer diretamente no forno, no alimentador do forno ou pela mistura com produtos de cimento acabado. O principal fator limitante é o teor de metal alcalino, que pode danificar o revestimento interno do forno rotativo. Outros fatores limitantes são o teor de outros metais e de cloro, pois podem contribuir para efeitos negativos nas emissões de metais e prejudicar os requisitos de qualidade do produto, respectivamente.

Recomenda-se também que o manuseio de combustíveis e resíduos perigosos seja realizado em uma área pavimentada com drenagem adequada para evitar vazamentos e contaminação do solo, bem como carreamento para as galerias de águas pluviais.

Finalmente, sobre os lançamentos em água, em geral, a produção de cimento não gera efluentes. Apenas pequenas quantidades de água são usadas para processos de limpeza, sendo recicladas de volta ao processo. Em qualquer caso, recomenda-se a adoção de um plano de prevenção da poluição das águas pluviais. É importante notar que sua efetividade está diretamente relacionada ao controle da poluição do ar, especialmente das emissões fugitivas e difusas.

Com base nos resultados do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP), foi aplicado o Método de Diagrama de Precedência (PDM) e foi obtido um Fluxograma de Inspeção Ambiental, apresentado na Figura 37, que pode ser utilizado para vistorias de licenciamento, acompanhamento pós-licença e fiscalização ambiental.

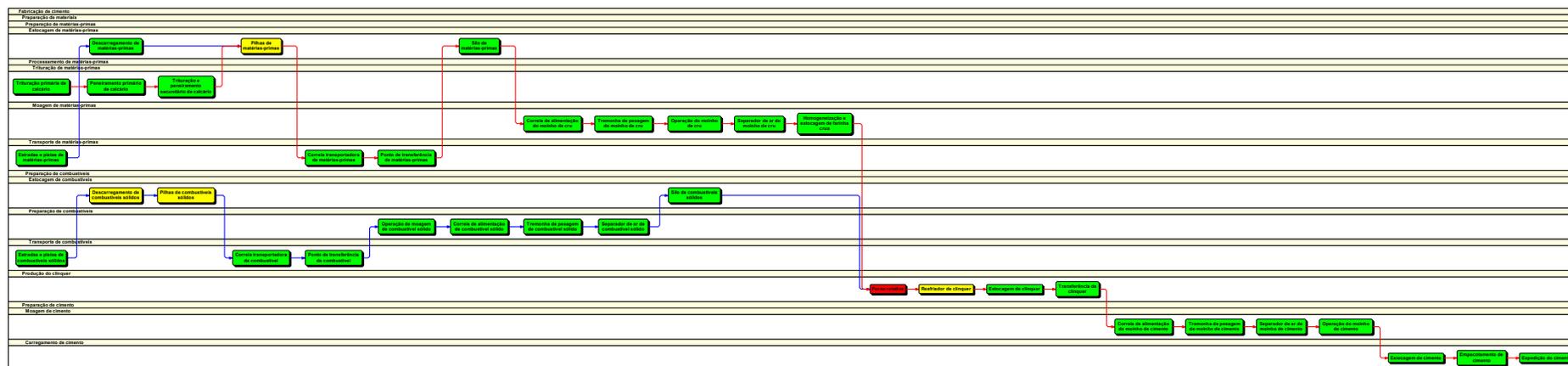


Figura 37. Fluxograma de Inspeção Ambiental para o processo de fabricação de cimento Portland.
 Fonte: elaboração própria.

Finalmente, a partir do resultado da aplicação do PDM e do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP), resultado da aplicação da metodologia a nível de setor, foi realizada a modelagem do processo usando uma solução de *Business Process Management (BPM)*, o software *Bizagi Modeler*.

Foram consolidadas no modelo, da mesma maneira que mostrado no Estudo de Caso 1, todas as informações obtidas neste trabalho (etapas 1 a 4 da Metodologia DFP) permitindo, que de forma simples e interativa, as etapas seguintes sejam aplicadas, sendo possível ao final gerar relatórios de vistoria automaticamente. Desta forma, para se prosseguir com a aplicação da metodologia em uma planta industrial específica, o que não está no escopo do presente trabalho, bastaria seguir aplicando os passos 5 a 7. Neste caso, além de dados específicos da planta, deve-se considerar a localização e a legislação ambiental relacionada.

A título meramente exemplificativo, serão listadas nos itens a seguir algumas leis, regulamentos e normas técnicas gerais e específicas (federais e do estado do Rio de Janeiro) relacionadas com a análise de requerimentos de licenciamento ambiental para fabricação de vidro:

- Leis, regulamentos e normas técnicas gerais federais
 - Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (art. 23, 24 e 225);
 - Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos;
 - Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente;
 - Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC);
 - Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências;
 - Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências;

- Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, que fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora;
- Decreto nº 8.437, de 22 de abril de 2015, que regulamenta o disposto no art. 7º, caput, inciso XIV, alínea “h”, e parágrafo único, da Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, para estabelecer as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental será de competência da União;
- Resolução nº 001/90 do CONAMA, de 08.03.90, publicada no D.O.U. de 02.04.90, que dispõe sobre critérios e padrões de emissão de ruídos;
- Resolução nº 237/1997 do CONAMA, de 22.12.1997, publicada no D.O.U de 22.12.1997, que regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente;
- Resolução nº 313 do CONAMA, de 29.10.02, publicada no D.O.U. de 22.11.02, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais;
- Resolução nº 357 do CONAMA, de 17.03.05, publicada no D.O.U. de 18.03.05, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências;
- Resolução nº 382 do CONAMA, de 26.12.06, publicada no D.O.U. de 02.01.07, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas;
- Resolução nº 436 do CONAMA, de 22.12.2011, publicada no D.O.U. de 26/12/2011, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007;
- NBR-10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação;
- NBR-10.151 – Acústica – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento;

- NBR-11.174 – Armazenamento de Resíduos Classes II (não inertes) e Classe III (inertes);
- NBR-12.235 – Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos (Classe I).
- Leis, regulamentos e normas técnicas gerais estaduais (Rio de Janeiro)
 - Constituição do Estado do Rio de Janeiro de 1989 (arts. 261 a 282);
 - Lei nº 1.898 de 26.11.91, que dispõe sobre a realização de Auditorias Ambientais;
 - Lei nº 1.925 de 26.12.91, que altera dispositivo da Lei nº 1.804, de 26.03.91, que determina que as indústrias sediadas no Estado do Rio de Janeiro afixem, em locais visíveis, placas que indiquem a natureza dos produtos ali produzidos;
 - Lei nº 2.011 de 10.07.92, que dispõe sobre a obrigatoriedade da implantação de programa de redução de resíduos;
 - Lei nº 3.007 de 09.07.98, que dispõe sobre o transporte, armazenamento e queima de resíduos tóxicos no Estado do Rio de Janeiro;
 - Lei nº 3.239 de 02.08.99, que institui a política estadual de recursos hídricos, cria o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta a Constituição Estadual, em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso VII, e dá outras providências;
 - Lei nº 3.467, de 14.09.2000, que dispõe sobre as sanções administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente no Estado do Rio de Janeiro;
 - DZ-703.R-4 – Roteiros para Apresentação de Projetos para Tratamento de Efluentes Líquidos, aprovada pela Deliberação CECA nº 19 de 16.02.78 e publicada no D.O.R.J. de 12.04.78;
 - IT-802.R-1 – Instrução Técnica para Apresentação de Projetos de Sistemas de Controle da Poluição do Ar, aprovada pela Deliberação CECA nº 311 de 28.09.78 e publicada no D.O.R.J. de 10.10.78;
 - NT-202.R-10 – Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos, aprovada pela Deliberação CECA nº 1.007 de 04.12.86 e publicada no D.O.R.J. de 12.12.86;

- NT-213.R-4 – Critérios e Padrões para Controle da Toxicidade em Efluentes Industriais, aprovada pela Deliberação CECA nº 1.948 de 04.09.90 e publicada no D.O.R.J. de 18.10.90;
- DZ-942.R-7 – Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos PROCON-ÁGUA, aprovada pela Deliberação CECA nº 1.995 de 10.10.90 e publicada no D.O.R.J. de 14.01.91;
- DZ-1314.R-0 – Diretriz para Licenciamento de Processos de Destruição Térmica de Resíduos, aprovada pela Deliberação CECA nº 2.968 de 14.09.93 e publicada no D.O.R.J. de 05.10.93;
- IT-1315.R-0 – Instrução Técnica para Requerimento de Licenças para Unidades de Destruição Térmica de Resíduos, aprovada pela Deliberação CECA nº 2.972 de 14.09.93 e publicada no D.O.R.J. de 05.10.93;
- DZ-215.R-4 – Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Sanitária, aprovada pela Deliberação CECA nº 4.886 de 26.04.94, publicada no D.O.R.J. de 18.05.94;
- DZ-1310.R-7 – Sistema de Manifesto de Resíduos, aprovada pela Deliberação CECA nº 4.497 de 03.09.04 e publicada no D.O.R.J. de 21.09.04;
- DZ-205.R-6 – Diretriz de Controle de Carga Orgânica em Efluentes Líquidos de Origem Industrial, aprovada pela Deliberação CECA nº 4.887 de 25.09.07, publicada no D.O.R.J. de 05.10.07 e republicada no D.O.R.J. de 08.11.07;
- DZ-056.R-3 – Diretriz para Realização de Auditoria Ambiental, aprovada pela Resolução CONEMA nº 021 de 07.05.10 e publicada no D.O.R.J. de 14.05.10;
- Resolução Inea nº 31, de 15 de abril de 2011 - Estabelece os códigos a serem adotados pelo Inea para o enquadramento de empreendimentos e atividades sujeitos ao licenciamento ambiental;
- Resolução Inea nº 32, de 15 de abril de 2011 - Estabelece os critérios para determinação do porte e potencial poluidor dos empreendimentos e atividades, para seu enquadramento nas classes do Slam;
- Resolução Inea nº 52, de 19 de março de 2012 - Estabelece os novos códigos para o enquadramento de empreendimentos e atividades poluidores

- ou utilizadores de recursos ambientais, bem como os capazes de causar degradação ambiental, sujeitos ao licenciamento ambiental;
- Resolução Inea nº 53, de 27 de março de 2012 - Estabelece os novos critérios para a determinação do porte e potencial poluidor dos empreendimentos e atividades poluidoras ou utilizadores de recursos ambientais, bem como os capazes de causar degradação ambiental, sujeitos ao licenciamento ambiental;
 - Resolução Conema nº 42, de 17 de agosto de 2012 - Dispõe sobre as atividades que causam ou possam causar impacto ambiental local, fixa normas gerais de cooperação federativa nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente e ao combate à poluição em qualquer de suas formas, conforme previsto na Lei Complementar no 140/2011, e dá outras providências.
- Leis, regulamentos e normas técnicas específicas federais
 - Resolução nº 264 do CONAMA, de 26.08.99, publicada no D.O.U. de 20.03.00, que dispõe sobre os procedimentos, critérios e aspectos técnicos específicos de licenciamento ambiental para o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer para fabricação de cimento;
 - Resolução nº 316 do CONAMA, de 29.10.02, publicada no D.O.U. de 20.11.02, alterada pela Resolução nº 386 do CONAMA, de 27.12.06, publicada no D.O.U. de 29.12.06, que dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos;
 - Leis, regulamentos e normas técnicas específicas estaduais (Rio de Janeiro)
 - DZ-510.R-4 - Diretriz para Controle da Poluição do Ar para Fábricas de Cimento, aprovada pela Deliberação CECA nº 652 de 16.05.1985 e publicada no D.O.R.J. de 10.06.1985;
 - NT-508.R-3 - Padrões de Emissão para Fábricas de Cimento, aprovada pela Deliberação CECA nº 651 de 16.05.1985 e publicada no D.O.R.J. de 10.06.1985.

4.1.4 Estudo de Caso 3: Fabricação de aço

Há cerca de 4.500 anos, o ferro metálico usado pelo homem era encontrado em meteoritos recolhidos por tribos nômades nos desertos da Ásia Menor. Analisando a etimologia do termo siderurgia, observa-se a curiosa relação com esta referência histórica, visto que o radical *sider* significa estrela, astro. Acredita-se que a primeira produção de ferro pelo homem tenha sido acidental, quando ainda no período Neolítico, pedras de minério, que circundavam as fogueiras utilizadas para aquecimento nas cavernas, entraram em contato com a madeira carbonizada, sendo reduzidas a metal, pela ação do calor. A utilização de altos fornos, iniciada no século XV, permitiu o alcance de mais altas temperaturas, resultando em ligas de ferro com maior resistência e dureza. Com a Revolução Industrial, no final do século XVIII, modificações nos fornos permitiram a fabricação de um produto mais resistente e com menos impurezas, que logo se tornou o metal mais consumido por uma civilização cada vez mais urbana e industrial e menos agrária (ARAÚJO, 1997).

O aço, tal como conhecemos hoje foi desenvolvido no século XIX e substituiu o ferro fundido em muitas aplicações, servindo como matéria-prima para muitas indústrias. A partir do século XX, as siderúrgicas intensificaram os investimentos em tecnologia para aumentar a eficiência da produção e proporcionar melhorias ocupacionais e ambientais (RIZZO, 2009).

O aço está presente em muitas ferramentas e processos indispensáveis para a vida moderna e tamanha é a sua importância que a produção de aço atua como indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país, uma vez que seu consumo está relacionado à construção de diversos utensílios, equipamentos, edifícios, dentre outros. O aço destaca-se ainda por ser o produto mais reciclável e mais reciclado do mundo. Diariamente, carros, geladeiras, fogões, latas, barras e arames tornam-se sucatas, que alimentam os fornos das usinas, produzindo novamente aço, sem prejuízos no que diz respeito à qualidade demandada (EUROPEAN UNION, 2013c).

A fabricação do aço em uma indústria siderúrgica pode ocorrer por meio de dois processos principais: o processo integrado e o processo semi-integrado. A principal diferença entre estes dois processos é que o primeiro processo parte do minério de

ferro, enquanto o segundo processo parte da sucata metálica e, em menor proporção, do ferro gusa (ARAÚJO, 1997).

Pode-se dividir a produção do aço, em uma indústria siderúrgica integrada, em cinco grandes etapas, quais sejam, preparação de cargas, redução, conversão e refino, lingotamento e laminação, conforme ilustrado na Figura 38 (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2015).

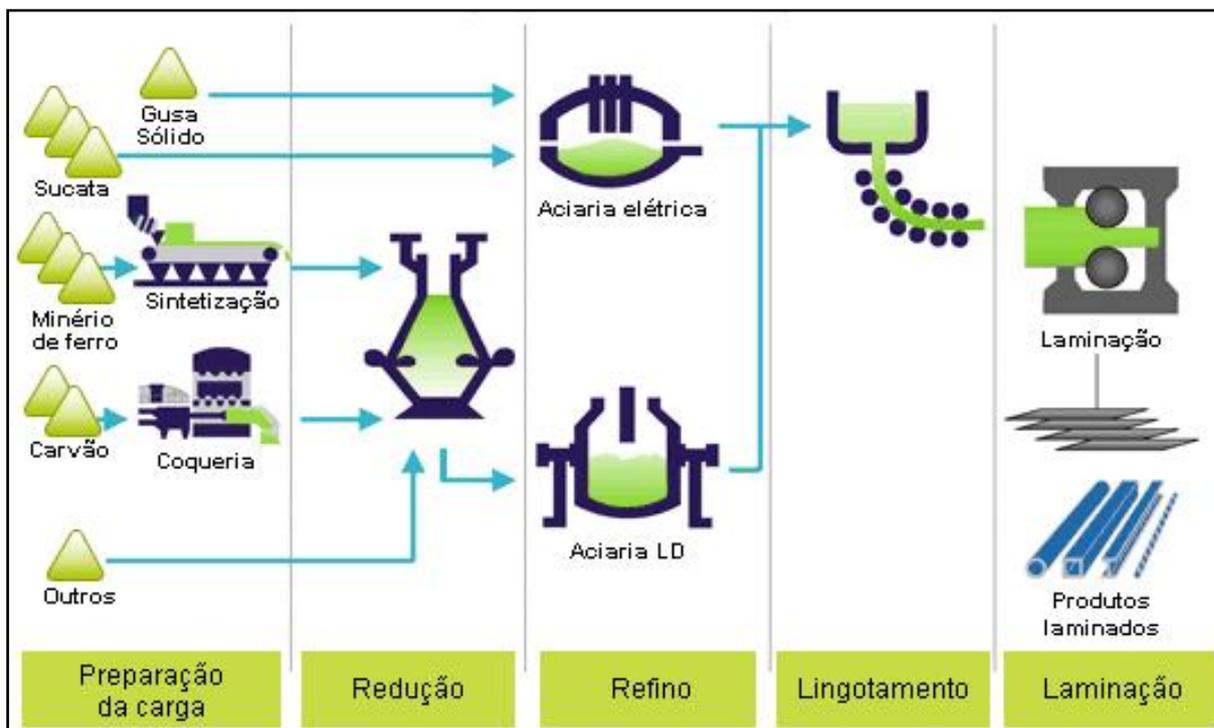


Figura 38. Representação esquemática das etapas de produção do aço via siderurgia integrada e semi-integrada.

Fonte: Instituto Aço Brasil (2015).

Uma representação esquemática dos processos integrado e semi-integrado é apresentada na Figura 39 (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012). Um diagrama mais detalhado dos fluxos em uma siderúrgica é apresentado na Figura 40 (USEPA, 1986b). Neste trabalho, será abordado o processo integrado, por ser este mais complexo e com maior apelo para a prevenção e controle da poluição ambiental.

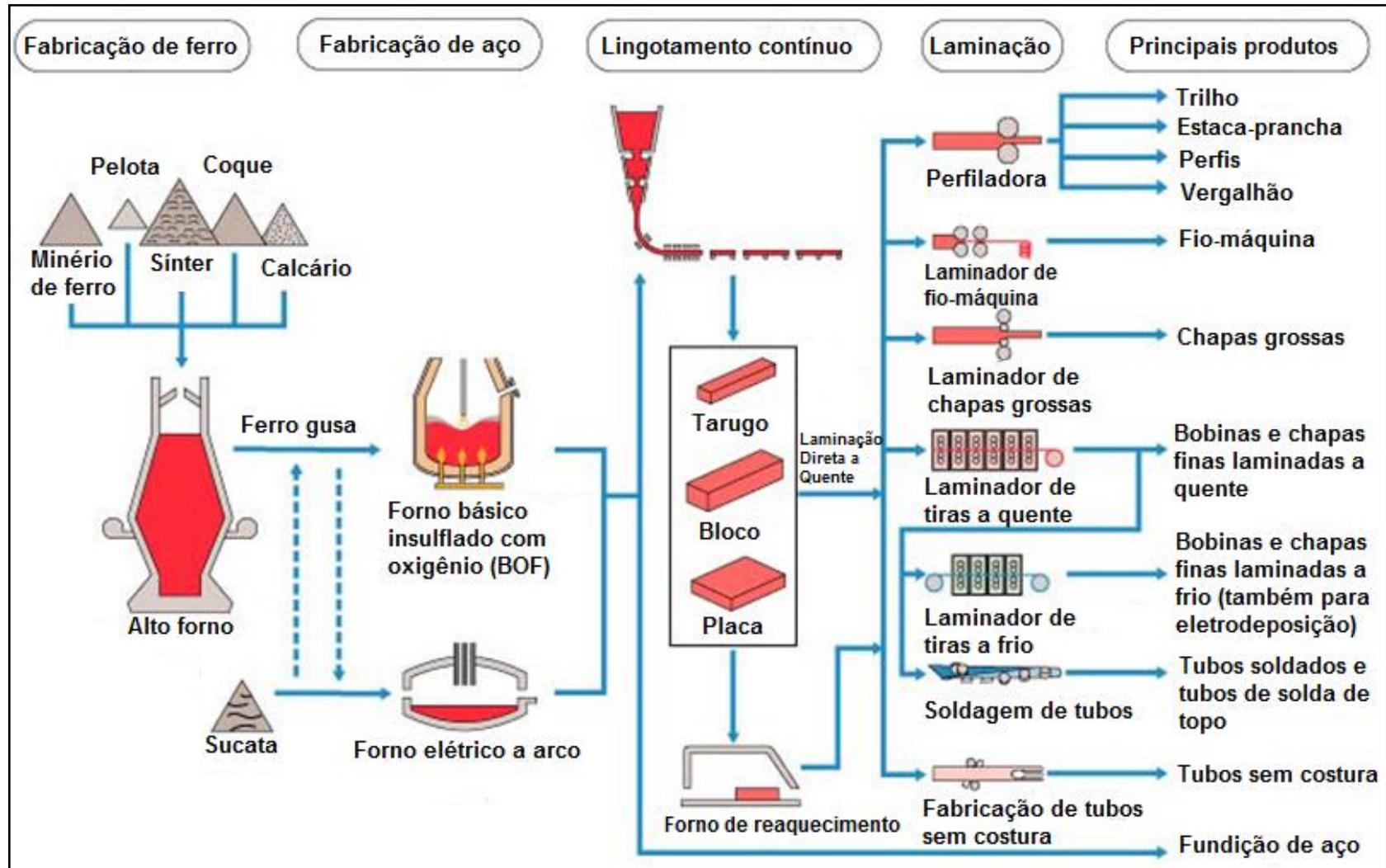


Figura 39. Diagrama do processo de fabricação de aço.

Fonte: Iron and Steel Industry (2012).

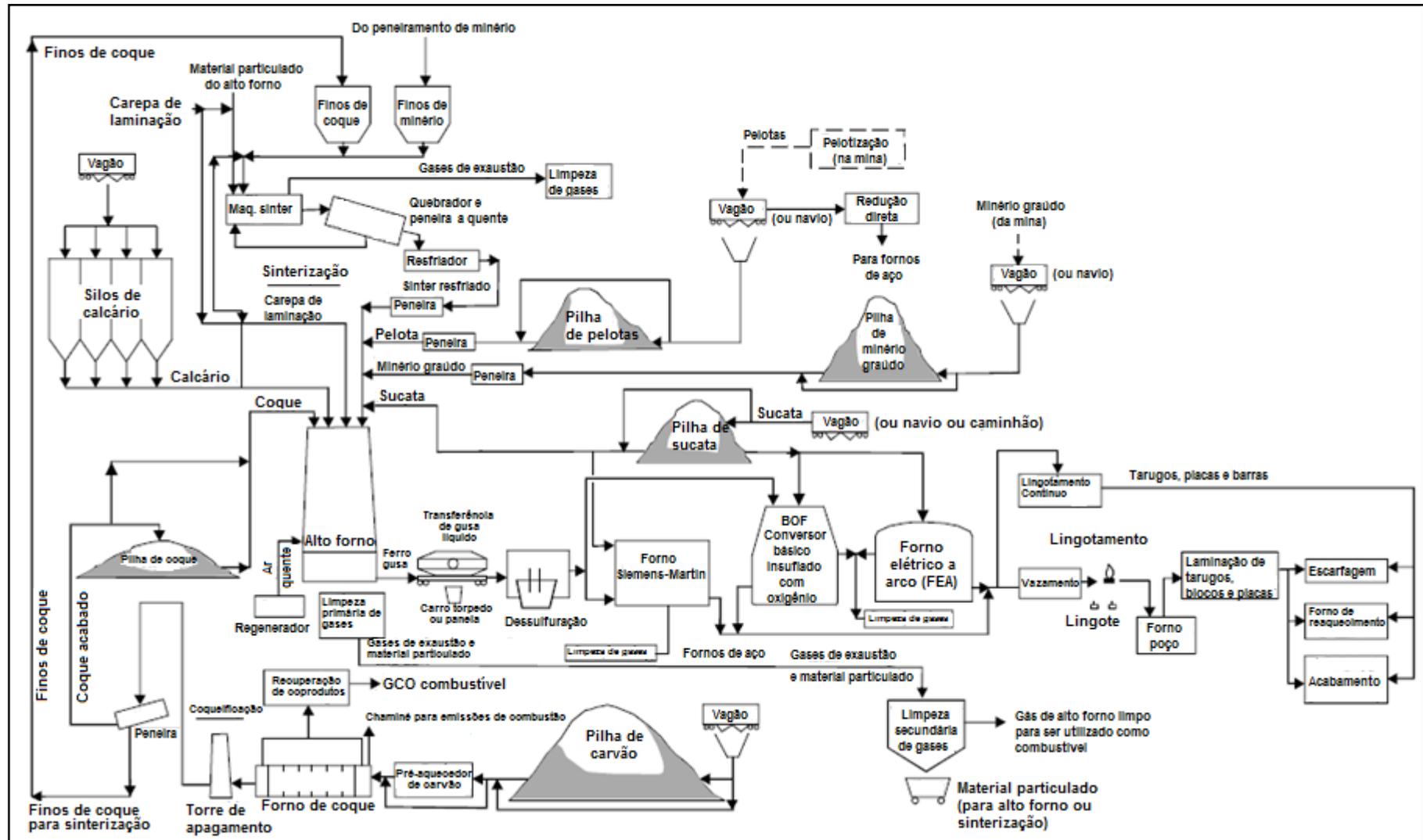


Figura 40. Diagrama geral de fluxos em uma indústria siderúrgica.
Fonte: USEPA (1986).

A metodologia de análise técnica apresentada no item 4.1.1 foi aplicada em nível de setor para a fabricação de aço, que permite a aplicação dos passos 1 a 4, sendo os resultados apresentados a seguir:

4.1.4.1 Passo 1 - Represente o macroprocesso

O macroprocesso de fabricação de aço foi representado em um diagrama de blocos resumido, considerando em alto nível os principais processos (preparação de cargas, redução, conversão e refino, lingotamento contínuo e laminação), bem como suas entradas e saídas principais, como mostrado na Figura 41.

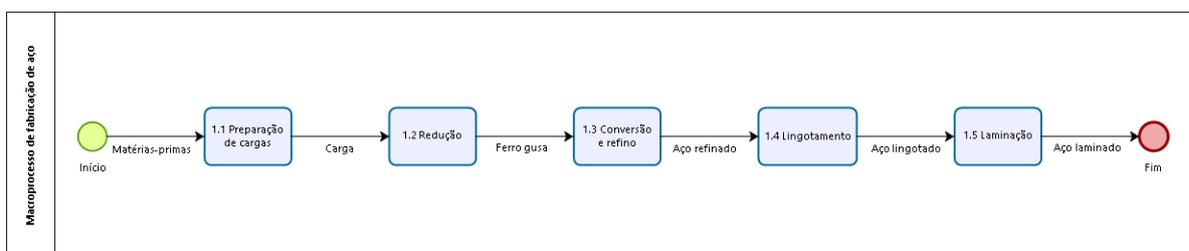


Figura 41. Macroprocesso de fabricação de aço.
Fonte: elaboração própria.

Cada processo foi nomeado, descrito e identificado com um código exclusivo, para assegurar a rastreabilidade das informações ao longo da análise, como resumido na Tabela 10 (ARAÚJO, 1997), (SHREVE e BRINK, 2012), (EUROPEAN UNION, 2013c); (USEPA, 1986b) e (USEPA, 2008).

Tabela 10. Resumo dos principais processos de fabricação de aço.

ID	Nome	Descrição, entradas e saídas
1.1	Preparação de cargas	Entradas: matérias-primas Saídas: carga para redução, gás de coqueria (GCO), material particulado e gases residuais Compreende todos os processos necessários para o fornecimento de matérias-primas na quantidade e qualidade necessárias para a redução do minério de ferro.
1.2	Redução	Entradas: carga para redução Saídas: ferro gusa, escória, gás de alto forno (GAF), material particulado e gases residuais O processo consiste na obtenção de ferro primário a partir da redução de seus óxidos utilizando-se um redutor, em

ID	Nome	Descrição, entradas e saídas
		geral coque, resultando em um produto líquido denominado ferro gusa, uma liga ferrosa que apresenta teor de carbono entre 3,5% e 4,5%.
1.3	Conversão e refino	Entradas: ferro gusa Saídas: aço refinado, escória, gás de aciaria (GLD), material particulado e gases residuais Neste processo, o ferro gusa é convertido em aço em um equipamento denominado convertedor (ou conversor) e posteriormente refinado, de acordo com as especificações metalúrgicas necessárias para posterior aplicação
1.4	Lingotamento	Entradas: aço refinado Saídas: aço lingotado, carepa Esse processo consiste no vazamento do aço verticalmente, através de válvula gaveta localizada no fundo da panela, disposta na torre, e de um distribuidor para dentro de um molde de cobre resfriado com água, de forma a promover a solidificação do aço.
1.5	Laminação	Entradas: aço lingotado Saídas: aço laminado A laminação é um processo de conformação mecânica que consiste na passagem de um corpo sólido entre dois cilindros, resultando na redução da seção transversal e no aumento do comprimento e largura. Uma unidade de laminação é complexa e diversificada, podendo apresentar várias sequências de operação.

Fonte: Elaboração própria. Adaptado de SHREVE e BRINK (2012); EUROPEAN UNION (2013c); USEPA (1986) e USEPA (2008).

4.1.4.2 Passo 2 - Realize a decomposição hierárquica de processos

Os principais processos de fabricação de aço obtidos no Passo 1 foram selecionados e decompostos em processos mais simples, obtendo-se um segundo nível de decomposição hierárquica, e assim por diante, até um nível que permitisse a compreensão das atividades realizadas, principalmente operações unitárias e conversões químicas, que pudessem representar potenciais fontes de poluição para o ar, a água e o solo, mesmo que as fontes de poluição não fossem conhecidas nesta

fase. Os processos obtidos foram identificados, nomeados e descritos de acordo com literatura especializada sobre processos siderúrgicos (ARAÚJO, 1997), (SHREVE e BRINK, 2012), (EUROPEAN UNION, 2013c); (USEPA, 1986b) e (USEPA, 2008):

Apesar da simplicidade aparente, a operação de uma siderúrgica integrada é caracterizada por uma série de complexas suboperações. O detalhamento do processo será realizado nas subseções a seguir.

4.1.4.2.1 Processo 1.1 - Preparação de cargas

Este processo foi decomposto em três processos: manuseio de materiais (1.1.1), coqueificação (1.1.2) e sinterização (1.1.3). Como os processos ainda eram muito abrangentes, foi aplicado um nível adicional de decomposição hierárquica.

Assim, o processo Manuseio de materiais foi decomposto em seis processos: Armazenamento de carvão (1.1.1.1), Manuseio de carvão (1.1.1.2), Transporte de carvão (1.1.1.3), Armazenamento de matérias-primas (1.1.1.4), Manuseio de matérias-primas (1.1.1.5) e Transporte de matérias-primas (1.1.1.6).

A coqueificação foi subdividida em cinco processos: Coqueificação de carvão (1.1.2.1), Manuseio de coque (1.1.2.2), Armazenamento de coque (1.1.2.3), Transporte de coque (1.1.2.4) e Tratamento de Gás de Coqueria (GCO) (1.1.2.5).

A sinterização foi decomposta em dois processos: Sinterização contínua (1.1.3.1) e Armazenamento de sinter (1.1.3.2).

4.1.4.2.1.1 Processo 1.1.1 - Manuseio de materiais

As matérias-primas podem chegar a uma indústria siderúrgica de várias formas, sendo mais comuns o transporte marítimo e o ferroviário e, em menor proporção o transporte rodoviário, o que irá depender da localização da planta. Estes materiais são armazenados em grandes pátios, usualmente constituídos por diversas pistas, onde após o recebimento, as matérias-primas são dispostas em pilhas, com base e altura máxima projetados para possibilitar um apropriado manuseio e a recuperação de materiais (EUROPEAN UNION, 2013c).

O padrão de empilhamento depende das características físico-químicas dos materiais estocados. Além do minério de ferro, matéria-prima principal, outros materiais são armazenados nestes pátios, tais como fundentes e escorificantes,

dentre os quais podem ser citados o calcário, a dolomita e a fluorita. A principal função destes materiais no processo consiste em facilitar a fusão de impurezas contidas no minério de ferro, tais como sílica e alumina, e fornecer substâncias que combinem preferencialmente com estas impurezas, de forma a retirá-las do metal, tornando a escória mais fluida (ARAÚJO, 1997).

As matérias-primas deixam os pátios através de retomadoras e correias transportadoras que as conduzem aos silos de armazenamento e para posterior beneficiamento para serem utilizadas nas operações siderúrgicas subsequentes. Nesta unidade recomenda-se a aspersão das pilhas de material pulverulento e a limpeza e umectação das vias de acesso, para controle de emissões de material particulado por arraste eólico, conforme mostrado, respectivamente na Figura 42 e na Figura 43 (ARCELORMITTAL, 2017).



Figura 42. Operação de aspersão de pilhas em pátios de matérias-primas (Fonte: ArcelorMittal, 2017).



**Figura 43. Operação de limpeza e umectação das vias de acesso
(Fonte: ArcelorMittal, 2017).**

De forma similar ao processo descrito anteriormente, o armazenamento de carvão e coque também ocorre em pátios de estocagem, e o seu manuseio é realizado utilizando-se máquinas retomadoras e correias transportadoras. Entretanto, enquanto o circuito no pátio de matérias primas compreende as unidades de sinterização e calcinação, o principal destino do carvão armazenado é uma unidade denominada coqueria, que como o nome indica, é responsável pela transformação do carvão mineral em coque, com as propriedades metalúrgicas adequadas para possibilitar a ocorrência de altas temperaturas no alto forno, da ordem de 1500 °C, necessária para a fusão do ferro, e também para a reação de redução do minério, na qual, basicamente, ocorre a associação dos átomos de oxigênio do minério com o carbono do coque, liberando o ferro metálico (EUROPEAN UNION, 2013c).

Devido à exaustão dos depósitos de carvão com médio teor de voláteis, tornou-se necessário misturar diferentes tipos de carvão para, com a combinação de suas propriedades, procurar reconstituir as características de um carvão de médio teor. Ao passo que um carvão com alto teor de voláteis, carvão AV, torna-se muito plástico durante o aquecimento, produzindo um coque demasiadamente poroso, com muitas trincas e fissuras, um carvão com baixo teor de voláteis, carvão BV, devido à alta expansividade, pode causar danos às paredes da coqueria pela pressão excessiva (ARAÚJO, 1997)

Outro importante processo que costuma ocorrer próximo ou mesmo integrado ao processo siderúrgico é a calcinação. Após ser recebido nos pátios de matérias primas, o calcário, ou carbonato de cálcio, é submetido ao processo de calcinação. Para ser classificado como calcário, a rocha deve conter pelo menos 50% de carbonato de cálcio. Quando a rocha contém de 30-45% de carbonato de magnésio, ela é referida como dolomita ou calcário dolomítico, que resultará em uma cal dolomítica ao invés de uma cal calcítica (USEPA, 1986b). Estas duas formas apresentam importantes funções na siderurgia, sendo a cal calcítica em maior proporção nos processos siderúrgicos e a cal dolomítica com maior uso na fabricação de refratários para tijolos refratários do revestimento dos conversores a oxigênio ou de paredes e soleiras de fornos elétricos.

Um diagrama de blocos do processo é apresentado na Figura 44 (KEFAN MACHINERY, 2012). De uma forma geral, devido a questões de logística, esta operação é realizada dentro ou próximo da planta siderúrgica. O processo básico de produção de cal é constituído das seguintes etapas:

- 1) preparação da carga de calcário para os fornos, por meio das operações de britagem, para cominuição das pedras de calcário, e peneiramento, para separação granulométrica;
- 2) Calcinação do calcário (aquecimento e decomposição em CaO (cal viva) e CO_2);
- 3) hidratação de parte do CaO , cerca de 15%, para fabricação de Ca(OH)_2 , hidróxido de cálcio, também denominado cal extinta ou cal apagada;
- 4) Britagem, peneiramento e classificação;
- 5) Transferência, estocagem e manuseio.

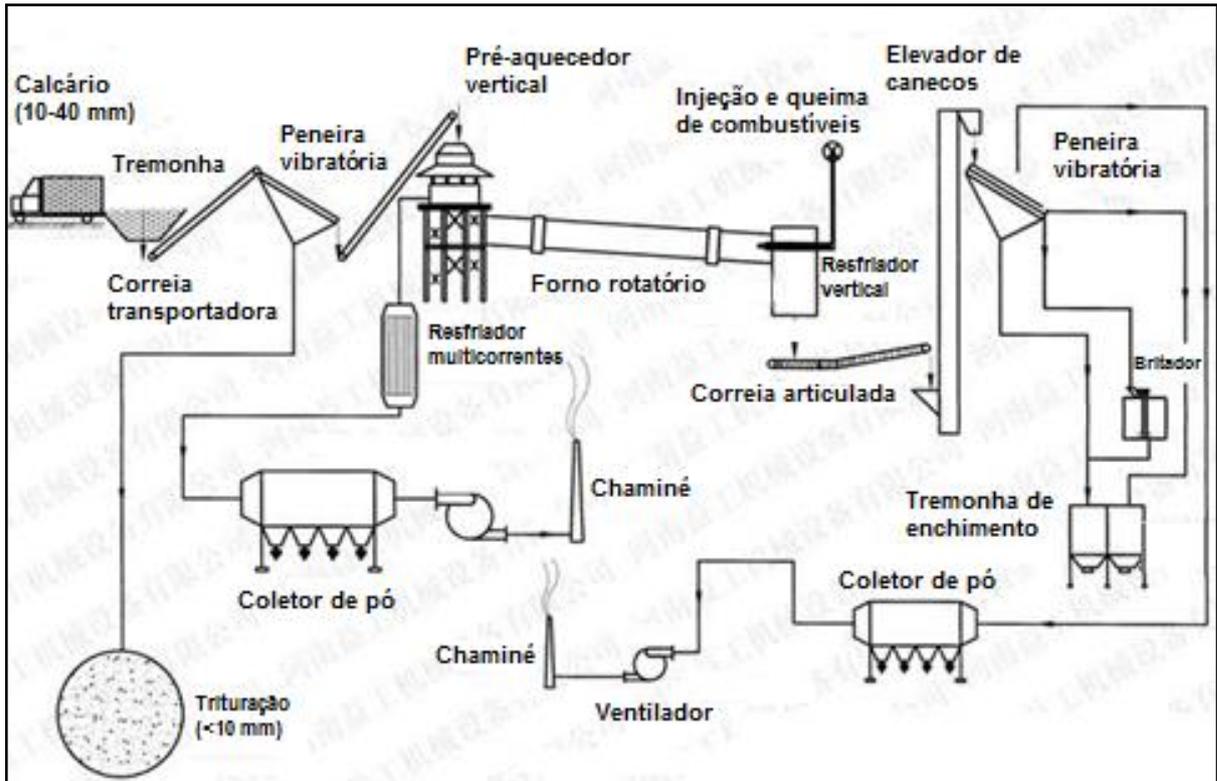


Figura 44. Diagrama de blocos do fluxo do processo de fabricação de cal (Fonte: Kefan Machinery, 2012).

O coração da planta de cal é o forno, sendo o tipo predominante o forno rotativo, um equipamento longo, cilíndrico e levemente inclinado que conta com paredes refratárias, onde o calcário e os gases quentes de exaustão passam em contracorrente. Seu diâmetro varia, conforme a produção, entre 1,8 e 5,0 m, e o comprimento entre 18 e 80 m, sendo a rotação da ordem de 5 a 6 rpm. Como a reação de calcinação é endotérmica, faz-se necessário o aquecimento do forno rotativo. Os principais combustíveis utilizados são carvão, óleo combustível e gás natural. A reação de calcinação ocorre entre 900°C e 1200°C, sendo necessários entre 900 e 1.200 kcal/kg, embora o consumo teórico seja de 750 kcal/kg. De acordo com a estequiometria da reação de calcinação, são necessários 1.785 kg de calcário para a fabricação de 1.000 kg de cal (ARAÚJO, 1997).

Resfriadores de produtos e pré-aquecedores de matérias primas dos fornos rotativos podem ser configurados de forma a permitir uma integração energética, baseada na recuperação do calor contido na cal aquecida e nos gases quentes de exaustão.

Como visto anteriormente, a cal é utilizada como fundente em siderurgia. As impurezas que acompanham os minérios fundem acima de 1.710 °C (SiO₂) até 2.030

°C (Al_2O_3), sendo necessária a adição de materiais que combinem com a ganga do minério, formando uma escória de baixo ponto de fusão (ARAÚJO, 1997).

De acordo com o mesmo autor, na sinterização a cal é adicionada sob a forma de calcário, em uma proporção de 4 a 10% e granulometria de 0 a 3 mm, sendo calcinada durante a operação. Ela funciona como ligante através de uma fase líquida formada pela reação da cal com a sílica e com os óxidos de ferro, reduzindo ou eliminando a necessidade de adição de carbonato de cálcio no alto forno.

Na pelletização, a cal atua como ligante, conferindo resistência às pelotas cruas durante o manuseio até o endurecimento por aquecimento. O consumo é da ordem de 22 a 30 kg/t na forma de cal hidratada.

No alto forno a cal é necessária para a solubilização da ganga do minério em uma escória fluida, que se separa do ferro gusa. Esta escória apresenta composição de 30% de SiO_2 , 15% de Al_2O_3 , e 45% CaO , além de outros componentes minoritários. A granulometria para utilização no alto forno varia entre 50 e 100 mm.

Outra importante aplicação do CaO é na operação de dessulfuração de gusa, que ocorre antes da etapa de conversão do mesmo em aço. Na dessulfuração, a parcela de ferro contida na forma de sulfeto de ferro é reduzida a ferro metálico por meio da seguinte reação: $2 \text{FeS} + 2 \text{CaO} + \text{Si} \rightarrow 2 \text{CaS} + \text{SiO}_2 + 2 \text{Fe}$. O consumo de cal viva nesta operação é de 20 a 30 kg/t, sendo as dimensões apropriadas de 15 a 65 mm.

Na aciaria L.D., tipo mais comumente encontrado na siderurgia integrada, utiliza-se cal virgem na proporção de 50 a 75 kg/t e granulometria na faixa de 8 a 40 mm.

4.1.4.2.1.2 Processo 1.1.2 - Coqueificação

A coqueificação consiste no processo de remoção de compostos voláteis do carvão, por meio de aquecimento a altas temperaturas (900 – 1100°C) em atmosfera deficiente em oxigênio, podendo durar de 16 a 18 horas, e objetiva concentrar o carbono. O produto desta destilação seca é um sólido poroso denominado coque, que ao final do processo deixa os fornos da coqueria e é conduzido para uma torre de apagamento e, na sequência para a moagem e peneiramento, para posterior utilização na sinterização e no alto forno (STEEL UNIVERSITY, 2012).

O coque é uma importante matéria prima na siderurgia, sendo utilizado como fonte de carbono, permitindo a redução do minério no alto forno e como fonte de energia para aquecimento e fusão dos materiais carregados. O coque utilizado no alto forno deve ter um teor alto de carbono e baixo de cinzas e enxofre e deve ter uma porosidade apropriada, assim como boa resistência, para garantir que ele forneça boa reatividade e não pulverize ao chocar-se com a corrente de gás em contracorrente no alto forno, mesmo em altas temperaturas (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

A admissão de coque de alta qualidade no alto forno resulta em uma taxa de consumo de coque mais baixa, maior produtividade e menor custo de metal quente (AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE, 2012).

Uma especificação típica de qualidade para coque mostra que a umidade deve ser de no máximo 0,1 a 0,2% quando utilizado apagamento a seco e 2 a 5% quando utilizado apagamento a úmido. O teor de cinzas deve ficar entre 11 e 12% e o material volátil entre 0,5 e 0,6% (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

De uma forma geral, o processo de coqueificação pode ser dividido em duas categorias, quais sejam: (a) coqueificação sem recuperação de coprodutos ou com recuperação de energia (*heat recovery coke plant*); e (b) coqueificação com recuperação de coprodutos (*by-products recovery*).

(a) Coqueificação com recuperação de energia (*heat recovery*)

Em coquerias com recuperação de energia o carvão é coqueificado em grandes fornos, que apresentam base em formato retangular e topo arqueado, como é mostrado na Figura 45. As dimensões típicas de uma planta americana são comprimento x largura x altura iguais a 14 x 3,5 x 2,4 m, que podem receber até 45 toneladas de carvão por carregamento. O processo de coqueificação com recuperação de calor tem sido operado com sucesso nos Estados Unidos desde 1998 (EUROPEAN UNION, 2013c).



Figura 45. Coqueria com caldeira para recuperação de calor (Fonte: American Iron and Steel Institute, 2012).

As coquerias com recuperação de calor são derivadas de fornos colmeia, que não possuem utilização/limpeza dos gases de combustão, ainda em operação na China (EUROPEAN UNION, 2013c). A base para os atuais fornos com recuperação de calor é o forno Jewell-Thompson, em que vários fornos são agrupados, formando longas baterias. Uma representação esquemática é apresentada na Figura 46.

A coqueificação ocorre a partir do topo do forno por transferência de calor por radiação e a partir do fundo do forno por condução através da base do forno. Ar primário para combustão é introduzido na câmara do forno através de vários orifícios localizados acima do nível da carga em ambos os lados do forno, de entrada do carvão (*pusher side*) e saída de coque (*coke side*). Gases parcialmente queimados deixam o topo da câmara através de tubos de escoamento descendente (*down comer*) na parede do forno e entram na câmara de combustão de gases sob o piso do forno, onde são queimados a temperaturas entre 1.200 e 1.400 °C, aquecendo-o e fornecendo calor para a coqueificação da carga de carvão. Os gases de combustão são coletados e conduzidos para uma caldeira, que converte o excesso de calor em vapor para a geração de energia elétrica (UNITED STATES STEEL, 1985). Por este motivo o processo é chamado de coqueificação com recuperação de calor. Após passar pela caldeira, os gases passam por um sistema de controle para abatimento de dióxido de enxofre e material particulado e depois são lançados na atmosfera.

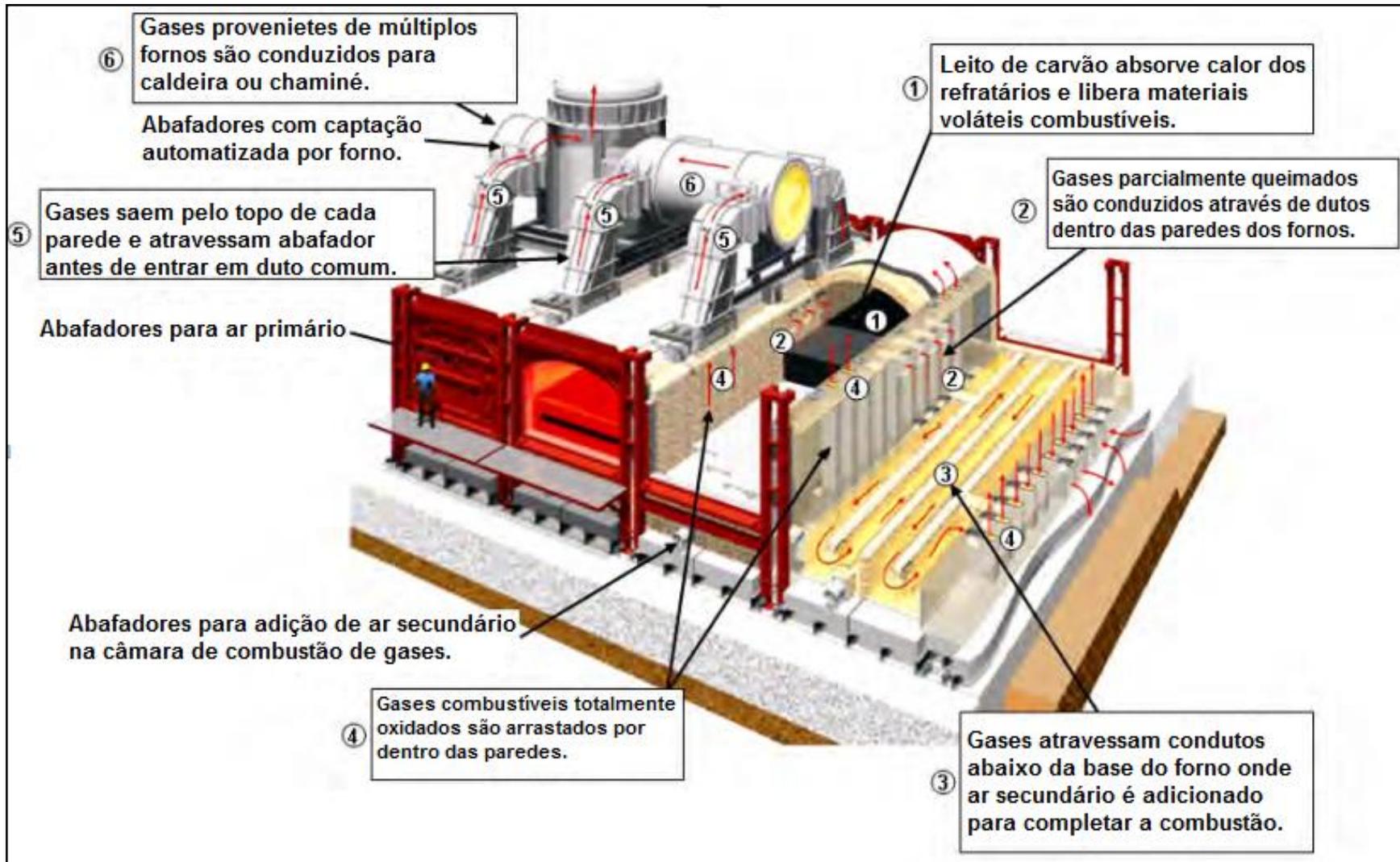


Figura 46. Forno Jewell-Thompson e coqueria com recuperação de calor
(Fonte: European Union, 2013c).

(b) Coqueificação com recuperação de coprodutos (*by-products recovery*)

Neste trabalho, será considerada a coqueria com recuperação de coprodutos por dois motivos principais. Em primeiro lugar, por ser a tecnologia convencionalmente empregada no Brasil e mesmo em outros países, como por exemplo, da Europa. Em segundo lugar, por estar presente na maior parte das usinas siderúrgicas mais antigas, que são justamente aquelas que apresentam maior dificuldade de desenvolver e aplicar medidas de prevenção e controle da poluição ambiental, devido a limitações impostas pelo arranjo original de suas unidades. A representação esquemática de uma coqueria com recuperação de coprodutos é apresentada na Figura 47 (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

Após a seleção e mistura apropriada de diferentes tipos de carvão, este é carregado pelo topo dos fornos da bateria, com auxílio de uma máquina enforadora. As baterias podem conter mais de 70 fornos com dimensões típicas de 14 m de comprimento, 6 m de altura e largura variando entre 0,3 e 0,6 m, podendo receber acima de 30 toneladas de carvão por carregamento (EUROPEAN UNION, 2013c).

Após o nivelamento do carvão e o fechamento do topo do forno, tem-se início a coqueificação, que ocorre em atmosfera redutora, sendo os gases residuais coletados e enviados para uma unidade de limpeza de gás de coqueria e recuperação de coprodutos (AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE, 2012).

De acordo com a American Iron and Steel Institute (2012), a transformação do carvão em coque, que em verdade é uma pirólise seca do carvão, com o calor sendo transferido das paredes refratárias aquecidas para a carga de carvão, ocorre em três etapas: (i) de 375°C a 475°C, o carvão se decompõe formando camadas plásticas próximo de cada parede; (ii) de cerca de 475°C a 600°C, há uma marcada evolução de alcatrão e compostos orgânicos voláteis, seguida de resolidificação da massa plástica em semicoque; e (iii) entre 600°C e 1100°C, a estabilização da fase coque se inicia. Esta etapa é caracterizada pela contração da massa de coque, desenvolvimento estrutural do coque e evolução final de hidrogênio. Uma vez que as camadas plásticas tenham encontrado o centro do forno, a totalidade da massa terá sido coqueificada, como pode ser observado na Figura 48 (AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE, 2012).

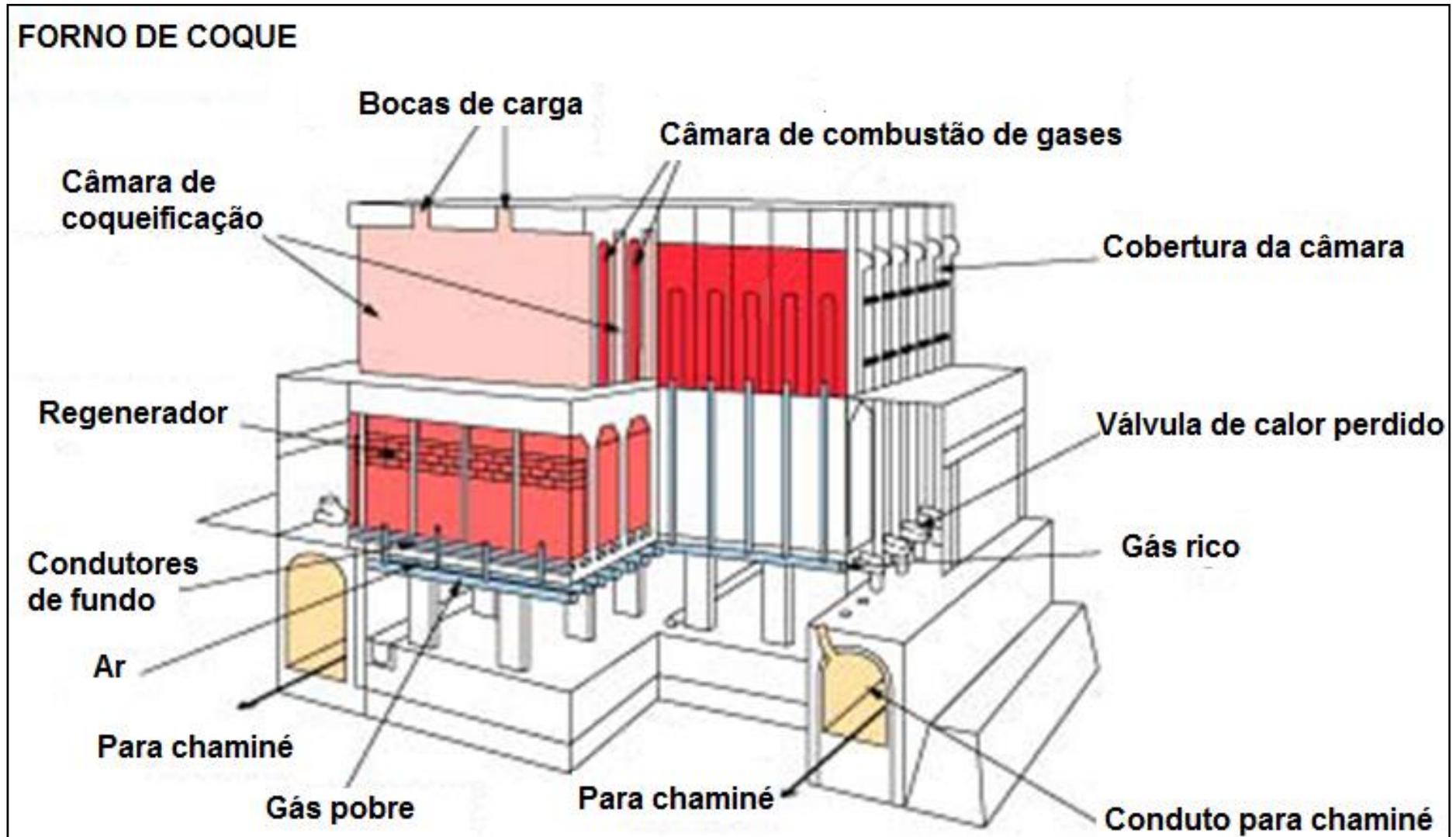


Figura 47. Representação esquemática de um forno de coqueificação com recuperação de coprodutos.

Fonte: Iron and Steel Industry (2012).

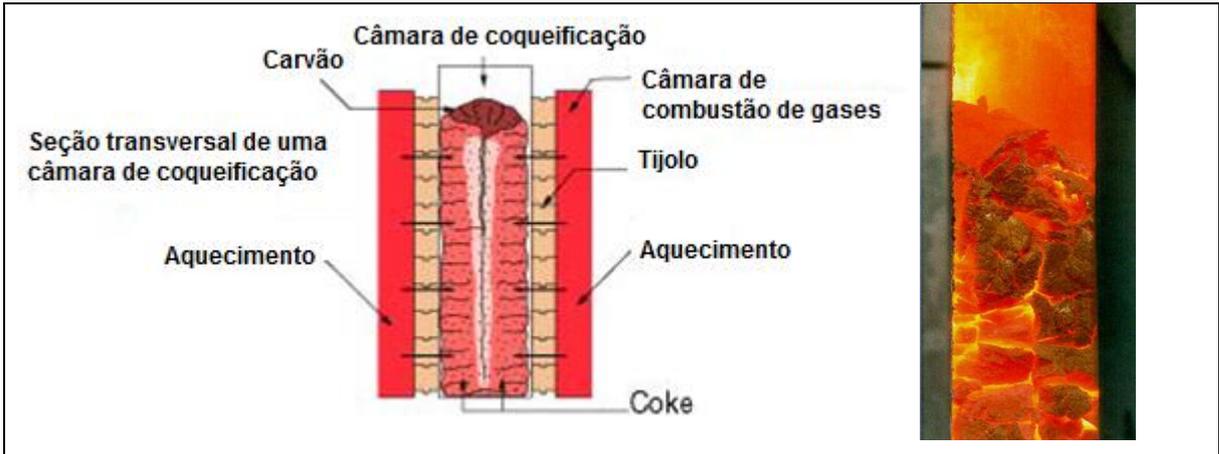


Figura 48. Visualização em corte de um forno de coqueificação
(Fonte: Iron and Steel Industry, 2012).

A massa de coque incandescente é empurrada do forno e, em seguida, segue para apagamento úmido, com água, ou seco, com nitrogênio, antes de ser beneficiada e destinada para o alto forno. A Figura 49 mostra as operações de descarregamento (esq.) e apagamento úmido (dir.) de coque (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).



Figura 49. Bateria de fornos de uma coqueria, com coque incandescente recém-descarregado (esq.) e torre de apagamento úmido de coque (dir.).
Fonte: Iron and Steel Industry (2012).

Tratamento de gases e recuperação de coprodutos

O gás de coqueria é formado pela corrente de voláteis que deixa os fornos da coqueria pelo tubo de ascensão e coletor principal. Apesar de a sua composição variar de acordo com o tipo de carvão utilizado e o tempo de coqueificação empregado, pode-se dizer que apresenta a seguinte composição típica: H_2 (46-52%v), CH_4 (27-

35%v), CO (6-10%v), C_mH_n (3-4%v), CO₂ (2-3%v) e N₂ (3-5%v) (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

O gás de coqueria é, portanto, um excelente combustível, apresentando poder calorífico igual a 18.000 kJ/Nm³, valor correspondente à metade do poder calorífico do gás natural e cinco vezes superior ao poder calorífico do gás de alto forno. Nas usinas siderúrgicas integradas, este gás, após ser limpo, é totalmente utilizado para aquecimento na própria coqueria, parte do pré-aquecimento de ar no alto forno e nos fornos de reaquecimento da laminação (MOURÃO, 2008).

Uma outra possibilidade é usar o gás de coqueria limpo como matéria prima na síntese química de metanol ou para separação de hidrogênio. Na China esta rota vem sendo constantemente desenvolvida, contando o país com 10 instalações em operação, que podem produzir entre 70 e 200.000 t metanol/ano (EUROPEAN UNION, 2013c).

A limpeza do gás de coqueria está associada à remoção de diversas frações voláteis que, após serem destiladas, darão origem a uma série de produtos, dentre os quais se destacam alcatrão, óleo leve (constituído principalmente de benzeno, tolueno e xileno), enxofre e amônia. Esta complexa operação de limpeza do gás de coqueria (GCO) e recuperação dos diversos coprodutos ocorre em uma unidade denominada carboquímica, sendo as principais etapas apresentadas a seguir:

(i) Resfriamento

Os gases quentes contendo compostos voláteis provenientes dos fornos passam pelos tubos de ascensão a temperatura de aproximadamente 1000 °C, sendo resfriados por um jato de licor amoniacal para a temperatura necessária para saturação dos vapores de interesse, cerca de 80 °C. Esta operação demanda de 2 a 4 m³ de licor amoniacal para cada tonelada de carvão coqueificado. A fase líquida obtida pelo uso do licor amoniacal e o condensado da umidade do carvão é conduzida para o separador água/alcatrão, enquanto a fase gasosa é levada para os resfriadores primários, que podem operar em sistemas abertos ou fechados, onde a temperatura é reduzida para abaixo de 20 °C, e ocorre condensação de uma fração adicional de condensados, que também são conduzidos para o separador de água/alcatrão. Em seguida, o gás passa por exaustor e por precipitador eletrostático, onde gotículas e partículas são separadas do gás e direcionadas para o separador água/alcatrão,

enquanto o gás segue para as unidades de absorção de amônia, que pode ocorrer de forma combinada com a remoção de sulfeto de hidrogênio. Finalmente, a corrente gasosa limpa passa por um resfriador final e por uma unidade de recuperação de óleos leves, sendo a seguir estocada em gasômetro para posterior uso nas diversas operações siderúrgicas. Um diagrama de blocos com a sequência destas operações é mostrado na Figura 50 (UNITED STATES STEEL, 1985); (EUROPEAN UNION, 2013c).

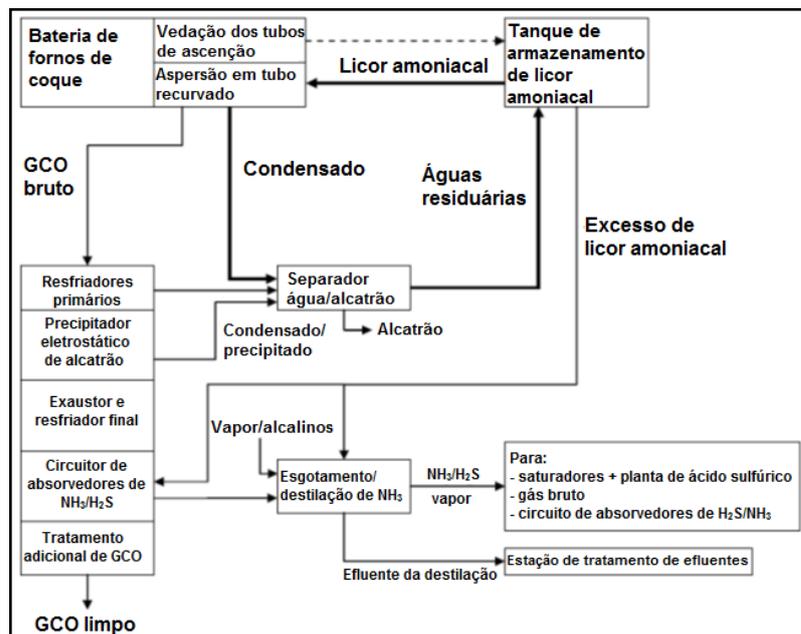


Figura 50. Diagrama esquemático com os fluxos de processos em uma unidade carboquímica. Fonte: European Union (2013c).

(ii) Recuperação de alcatrão

Como visto anteriormente, a maior parte da água e dos hidrocarbonetos com alta temperatura de ebulição são condensados durante o resfriamento de gás, tanto nos tubos de escoamento descendente (*downcomer*) quanto no precipitador eletrostático, e levados para um separador de água/alcatrão. Neste equipamento separam-se as fases licor amoniacal, alcatrão e borras, sendo esta última removida por meio de raspadores. Parte do licor amoniacal é reutilizado no resfriamento do gás de coqueria, sendo o excedente conduzido para as operações de destilação e absorção de amônia ou para os absorvedores de H₂S, antes de seguir para um sistema de tratamento de efluentes e posterior descarte no corpo receptor ou reuso (STEEL UNIVERSITY, 2012); (EUROPEAN UNION, 2013c).

Para cada tonelada de coque produzido, aproximadamente 25 a 45 kg de alcatrão podem ser recuperados (USEPA, 2008). O alcatrão recuperado pode ainda ser destilado para obtenção de diversos cortes de interesse, dentre os quais se destacam piche, naftaleno, óleo antracênico, óleo desinfetante, óleo creosoto e alcatrão para pavimentação.

(iii) Dessulfurização

O gás de coqueria contém sulfeto de hidrogênio (H_2S) e vários compostos organosulfurados, tais como dissulfeto de carbono (CS_2), oxissulfeto de carbono (COS) e mercaptanas. Estes compostos causam corrosão em tubulações e equipamentos e, por isso, devem ser removidos. Para cada tonelada de coque produzido são gerados 2,5 kg de H_2S (EUROPEAN UNION, 2013c).

Segundo a mesma fonte, existem diversas formas de se promover a remoção destes compostos do gás de coqueria. De uma forma geral, as técnicas úmidas de dessulfurização são altamente eficientes para remoção de H_2S , no entanto são menos eficientes para a remoção dos demais compostos organosulfurados. Comercialmente, os processos de dessulfurização podem ser divididos em processo de oxidação úmida para produzir enxofre elementar e processo com absorção de H_2S para posterior conversão em ácido sulfúrico ou enxofre elementar, sendo a eficiência de remoção deste último processo inferior à eficiência do primeiro. Uma configuração possível é a remoção combinada de enxofre e amônia em absorvedores de gases, que será detalhada nos itens seguintes.

(iv) Recuperação de amônia

A amônia formada durante a coqueificação aparece tanto no gás de coqueria quanto nos condensados que resultarão no licor amoniacal. Da mesma forma que o H_2S , a amônia causa corrosão em tubulações e equipamentos, além de impactos ambientais se queimada junto com o GCO, o que justifica a sua remoção. Para cada tonelada de coque produzido são gerados 3 kg de amônia. Comercialmente se destacam as seguintes alternativas de remoção de amônia do gás de coqueria (EUROPEAN UNION, 2013c):

- remoção combinada de $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{S}$: neste processo a amônia é removida do gás de coqueria em um absorvedor utilizando água ou licor diluído como líquido de absorção. O efluente do absorvedor de amônia é utilizado como líquido de absorção no absorvedor de sulfeto de hidrogênio. O efluente deste absorvedor, por sua vez, contendo amônia e sulfeto de hidrogênio é levado a um absorvedor de amônia e a uma coluna de destilação;
- recuperação com sulfato de amônio: pode ser obtido passando-se o gás de coqueria por uma solução diluída de ácido sulfúrico;
- recuperação direta de amônia anidra: processo desenvolvido pela United States Steel Corporation sob o nome USS PHOSAM. Neste processo, a amônia é absorvida em uma solução fraca de ácido fosfórico, resultando em fosfato de amônia que se concentra na solução. Em seguida, o ácido fosfórico é recuperado em uma coluna de esgotamento, utilizando-se vapor d'água, que libera a amônia, que é conduzida para uma coluna de fracionamento, onde se obtém amônia anidra. Outra parcela que contém amônia é a de sais de amônia na solução. A recuperação de amônia, neste caso, também ocorre em colunas de fracionamento, utilizando-se, todavia, solução alcalina.

Existem várias razões para se promover a recuperação da amônia e evitar o seu descarte no sistema de tratamento de efluentes ou no ambiente. Além da vantagem econômica da recuperação deste valioso coproduto, sempre desejada pelo setor produtivo, a amônia apresenta alta toxicidade para ecossistemas aquáticos, incluindo o sistema biológico da estação de tratamento de efluentes líquidos. Além disso, a amônia apresenta uma alta demanda específica de oxigênio, requerendo 4,5 vezes sua própria massa para oxidação a nitratos, o que representa um risco de redução da concentração de oxigênio dissolvido no corpo receptor caso o efluente seja lançado sem tratamento. Por estas razões processos de recuperação de amônia estão presentes em quase todas as coquerias atualmente em operação (ARAÚJO, 1997).

(v) Recuperação de óleos leves

O gás de coqueria que deixa os absorvedores de amônia contém óleo leve, que é uma mistura de mais de cem constituintes do gás de coqueria que possuem temperatura de ebulição entre 0 e 200 °C. Apesar da grande quantidade de substâncias presentes, a maior parte destas, devido às baixas concentrações encontradas não apresenta recuperação viável. Os principais constituintes utilizáveis são benzeno (60-80%), tolueno (6-17%), xileno (1-7%) e nafta solvente (0,5-3%). Mais de 15 kg de óleo leve podem ser recuperados de cada tonelada de coque produzida. Três são os principais métodos utilizados para a recuperação de óleos leves (EUROPEAN UNION, 2013c): (i) refrigeração e compressão; (ii) adsorção em carvão ativado seguida de recuperação de óleos leves por aquecimento; e (iii) absorção em solventes, tais como óleo mineral, seguida de destilação do líquido absorvente para recuperação do óleo leve.

A Figura 51 apresenta um diagrama de blocos típico de uma unidade carboquímica para limpeza de gás de coqueria e recuperação de coprodutos, contemplando as operações descritas nesta seção.

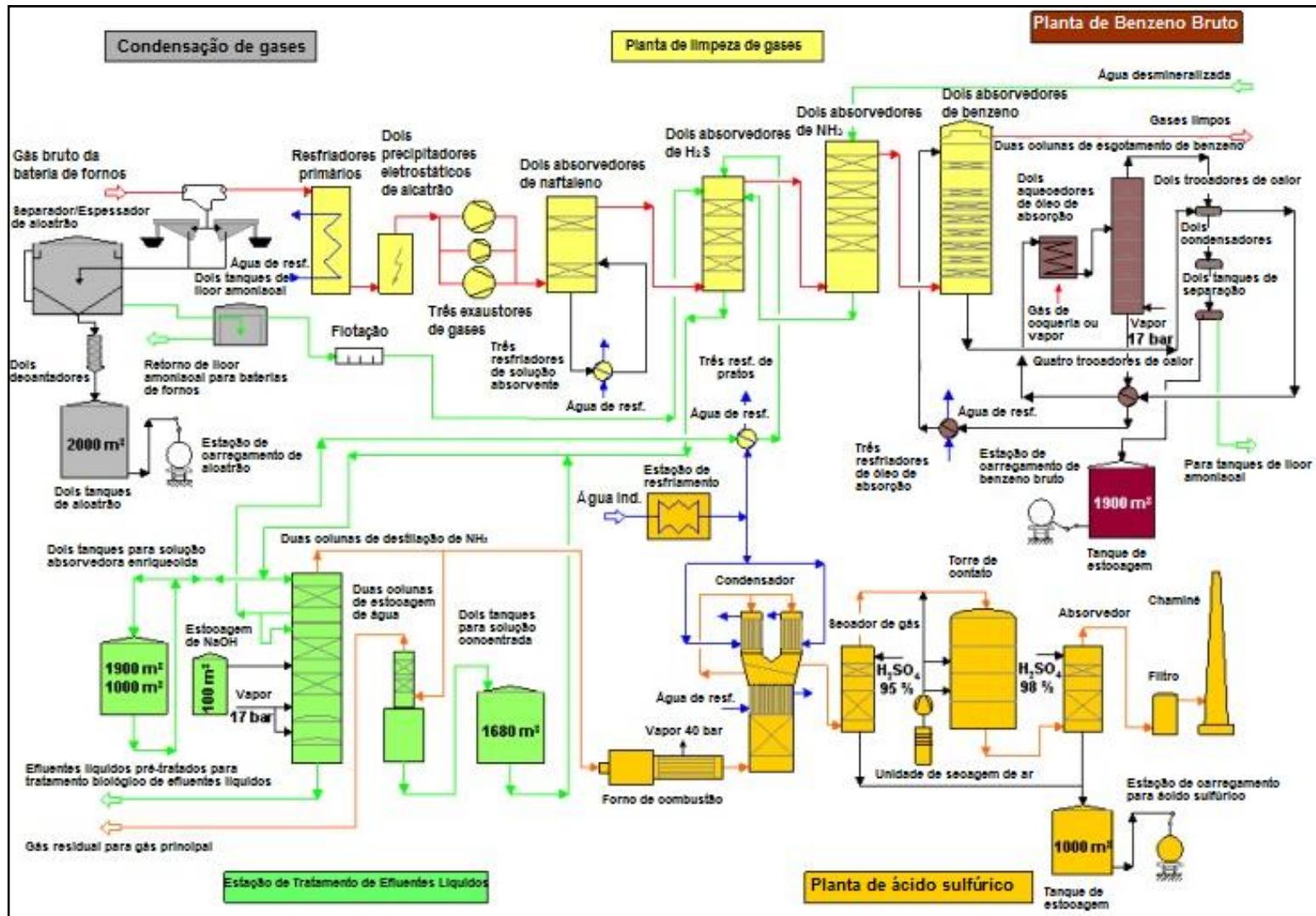


Figura 51. Diagrama de blocos típico de uma planta carboquímica para limpeza de gás de coqueria e recuperação de coprodutos (Fonte: European Union, 2013c).

4.1.4.2.1.3 Processo 1.1.3 - Sinterização

A sinterização constitui, junto com os processos de pelotização, briquetagem e nodulização, os processos de aglomeração convencionalmente utilizados em siderurgia. Os processos de aglomeração apresentam grande importância nos processos siderúrgicos, uma vez que o alto forno apresenta limitada tolerância a presença de finos. A aglomeração permite, desta forma, melhorias na permeabilidade da carga e do contato entre os sólidos e o gás redutor, o que repercute diretamente em um menor consumo de coque (*coke rate*) e um aumento na velocidade de reação (ARAÚJO, 1997).

Dentre estes processos, a sinterização apresenta especial destaque nos processos siderúrgicos e, por este motivo, será o único processo de aglomeração abordado neste trabalho.

A sinterização atua como grande central de reciclagem na siderurgia, pois permite a reutilização de finos provenientes tanto da mineração, principalmente das etapas de britagem e manuseio, quanto da operação, sendo as principais contribuições resultantes da recuperação de material particulado dos sistemas de despoejamento, carepas, escórias e lamas de aciaria. O principal equipamento do processo, a máquina de sínter, é formado por uma grande esteira, ligeiramente inclinada (2° a 3°), com até 4 metros de largura e 30 m de comprimento, composta por grelhas móveis, sobre a qual se dispõe o material a ser sinterizado, em uma produção que pode variar entre 25 e 43 t/m² de área de grelha (UNITED STATES STEEL, 1985); (ARAÚJO, 1997).

A carga, constituída de finos de minério, finos de carvão ou coque e finos de fundentes, após preparada, é disposta sobre uma camada recém-preparada de sínter, denominada falsa grelha, passando a seguir por uma coifa de ignição. A queima de combustível é iniciada na parte superior da carga e se propaga para baixo, na medida em que o ar ambiente é succionado para o interior da máquina. Didaticamente, compara-se a fabricação de sínter à queima de um cigarro, uma vez que o mecanismo de aspiração é o principal responsável pelo avanço da frente de combustão. A Figura 52 mostra uma máquina de sínter em operação (EUROPEAN UNION, 2013c).



Figura 52. Máquina de sinterização.
Fonte: European Union (2013c).

O processo de aglomeração a quente da carga de finos resulta em um produto poroso denominado sínter. As altas temperaturas, da ordem de 1200 °C a 1400 °C são atingidas a partir da combustão do carvão ou coque, sendo as etapas do processo as seguintes: vaporização da água livre (até 300 °C), vaporização da água combinada (400 °C a 500 °C), redução superficial do minério de ferro, decomposição de carbonatos (750 °C a 1150 °C), formação de silicatos (600 °C a 1300 °C), formação de cálcio-ferritas (600 °C a 1300 °C), combustão do coque (1300 °C) e formação da magnetita (EUROPEAN UNION, 2013c).

Finalizada a sinterização, que usualmente ocorre de forma contínua, o bolo de sínter passa por um grande quebrador, sendo posteriormente peneirado, ainda quente, e conduzido para um resfriador circular, onde a temperatura é reduzida de 700 °C a 800 °C para 120 °C. Após resfriado, o sínter passa por britagem e peneiramento a frio, de forma a adequar a qualidade deste produto às especificações definidas pela operação do alto forno. A Figura 53 apresenta uma representação esquemática de uma unidade de sinterização (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

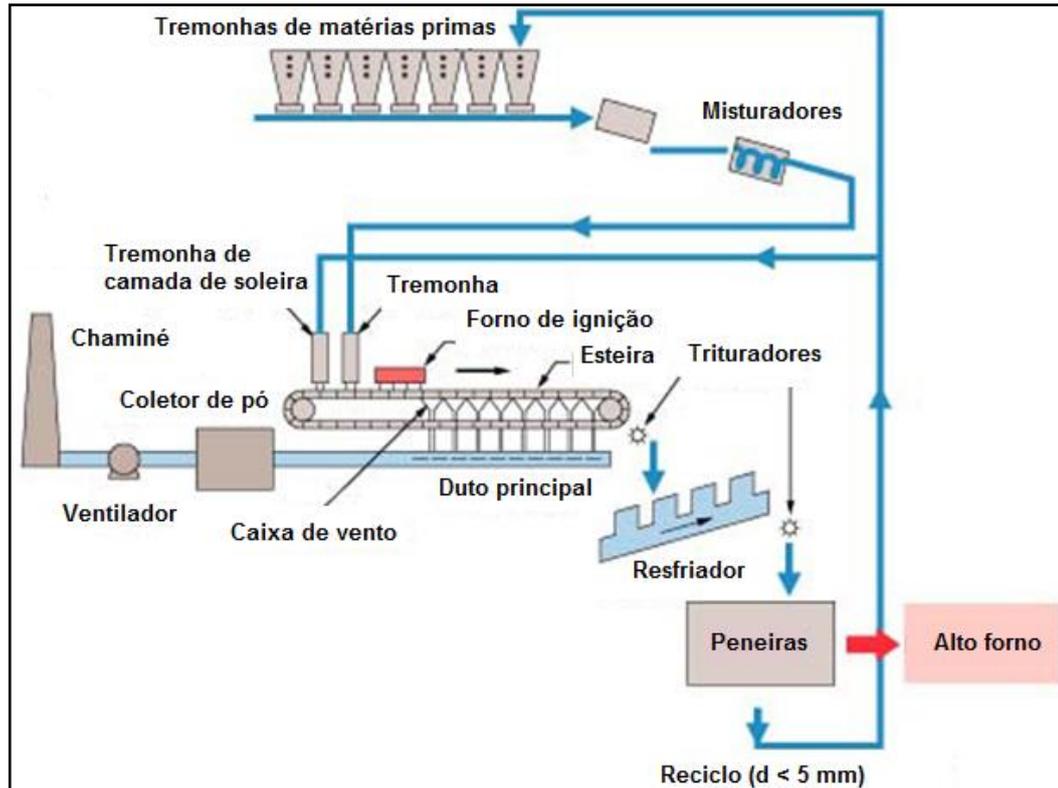


Figura 53. Representação esquemática de uma sinterização
(Fonte: Iron and Steel Industry, 2012).

4.1.4.2.2 Processo 1.2 - Redução

Este processo não necessitou ser decomposto, uma vez que já se encontrava em último nível de decomposição hierárquica e sua decomposição já resultava em fontes de poluição.

Esta etapa consiste na obtenção de ferro primário a partir da redução de seus óxidos utilizando-se um redutor, em geral coque ou carvão (mineral ou vegetal). A redução pode ocorrer de forma direta, quando em nenhuma etapa do processo ocorre fusão da carga no reator, resultando em um produto sólido conhecido como ferro esponja ou de forma indireta, quando ocorre a fusão da carga no reator, resultando, neste caso, em um produto líquido denominado ferro gusa, uma liga ferrosa que apresenta teor de carbono entre 3,5% e 4,5%. Considerando a grande extensão da utilização de processos de redução indireta, esta será a via de produção abrangida por este trabalho (EUROPEAN UNION, 2013c).

Dentre os processos de obtenção de ferro por redução indireta, destaca-se a utilização de um equipamento denominado alto forno, que é responsável por 95% da



Figura 55. Vista geral de dois altos fornos, com três regeneradores cada, com as respectivas chaminés para os gases de combustão provenientes dos regeneradores.

Fonte: European Union (2013c).

As principais matérias primas carregadas em alto forno de grande produção (3.500 a 13.000 t/dia) são: minério de ferro, que pode estar sob a forma de granulada e/ou sinter e/ou pelota; coque; e fundentes, dentre os quais se destacam a cal e o calcário. Um exemplo de carga de alto forno mostra que para cada tonelada de ferro gusa são necessários 1,16 t de sinter, 0,38 t de coque, 0,28 t de minério de ferro granulado e 0,19 t de pelotas de ferro (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

O coque atua ao mesmo tempo como combustível e redutor, sendo também permeabilizador da carga e fornecedor de carbono para o ferro gusa. As matérias primas são carregadas pelo topo, por meio de um distribuidor circular, e descem a uma velocidade de 8 a 15 cm/minuto, levando de 6 a 8 horas para atingir a região inferior do alto forno, quando após sofrer uma série de reações químicas, são transformadas em ferro gusa e escória, que se separam em duas camadas por diferença de massa específica, que são iguais a 6,8 e 1,5 t/m³, para o ferro gusa e escória, respectivamente (RIZZO, 2009).

O ferro gusa, depois de separado da escória com auxílio de um escumador (*skimmer*) no canal principal, passa para o canal secundário de gusa é vazado para

carros torpedo ou panelas, enquanto a escória é conduzida através dos canais secundários de escória, podendo ser direcionada para um granulador de escória, para o poço de escória (*dry pit*) ou para potes. Estas operações ocorrem em uma área do alto forno conhecida como casa de corrida Figura 56 (VIZAGSTEEL, 2012).



**Figura 56. Imagem da casa de corrida do alto forno.
Fonte: Vizagsteel (2012).**

Para que o alto forno apresente uma boa marcha, ou seja, uma alta produção com baixo consumo de combustível, os gases redutores ascendentes devem ser aproveitados ao máximo, o que significa que devem deixar o alto forno com a maior concentração de gás carbônico e a menor temperatura possíveis. Para isto, é importante que a permeabilidade da coluna de carga em toda seção do alto forno seja uniforme, de forma a evitar a formação de caminhos preferenciais na periferia e no eixo do forno (ARAÚJO, 1997).

Igualmente importante se faz o fornecimento de oxigênio para permitir a combustão do coque no alto forno. A fonte de oxigênio utilizada é o ar atmosférico, que pode ser enriquecido com oxigênio e/ou outros combustíveis, como carvão pulverizado, óleo e gás natural. Previamente à alimentação no forno, por meio de ventaneiras, o ar é pré-aquecido em regeneradores, que usualmente utilizam parte do gás de alto forno como estratégia de integração energética. A necessidade do pré-aquecimento e enriquecimento do ar está associada à economia de coque, visto que

se o ar necessário à combustão fosse introduzido no alto forno à temperatura ambiente, seria necessária uma maior quantidade de coque, pois haveria a necessidade adicional de se aquecer os gases até a temperatura de operação na região de queima (ARAÚJO, 1997). Para o exemplo de carga citado anteriormente são necessários 995 Nm^3 de ar, aquecido a $1180 \text{ }^\circ\text{C}$ e com pressão igual a $0,4 \text{ MPa}$, por tonelada de ferro gusa produzido. A alimentação de finos de carvão nas ventaneiras para o mesmo exemplo é de $0,12 \text{ t/t}$ (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

A Figura 57 mostra uma representação de um corte transversal de alto forno, com o respectivo gradiente de temperatura característico da sua operação.

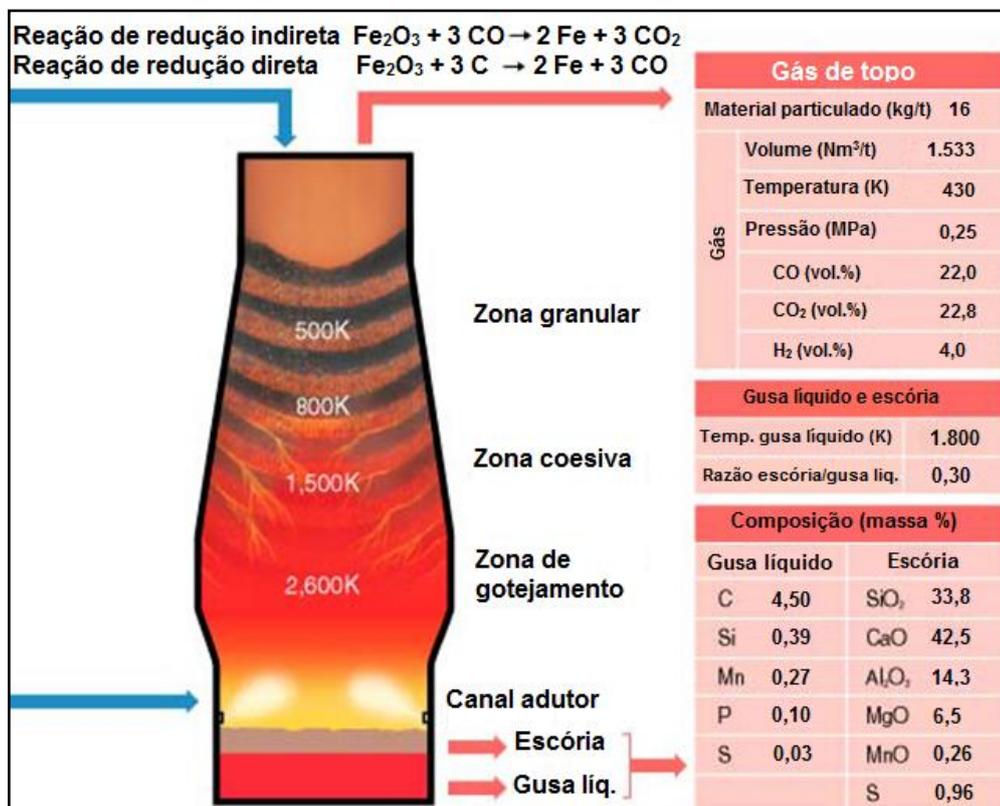


Figura 57. Condições operacionais típicas em alto forno de grande produtividade (Fonte: Iron and Steel Industry, 2012).

O ferro gusa é o principal produto do alto forno, sendo utilizado na fabricação do aço, que ocorrerá em uma unidade à jusante, chamada aciaria. Diferentes especificações de ferro gusa podem ser obtidas para aplicações em fundições ou para composição de ligas. Uma composição típica indica que além do ferro podem estar presentes os seguintes elementos (%m/m): C (4,50%), Si (0,39%), Mn (0,27%), P (0,10%) e S (0,03%) (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

Em uma siderúrgica integrada, o ferro gusa líquido, vazado a 1527 °C, é transportado para aciaria em carros torpedo ou em painéis de ferro gusa, podendo ser submetido previamente a diversos pré-tratamentos, sendo exemplos dessilicificação, dessulfuração e desfosforação, como ilustrado na Figura 58. Esta operação ocorre com a adição de agente que contenha mais afinidade com o contaminante em um meio com turbilhonamento adequado para promover a agitação e mistura entre agente e carga. O contaminante é transferido para novas parcelas de escórias que devem ser separadas do ferro gusa para não comprometer as operações subsequentes (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

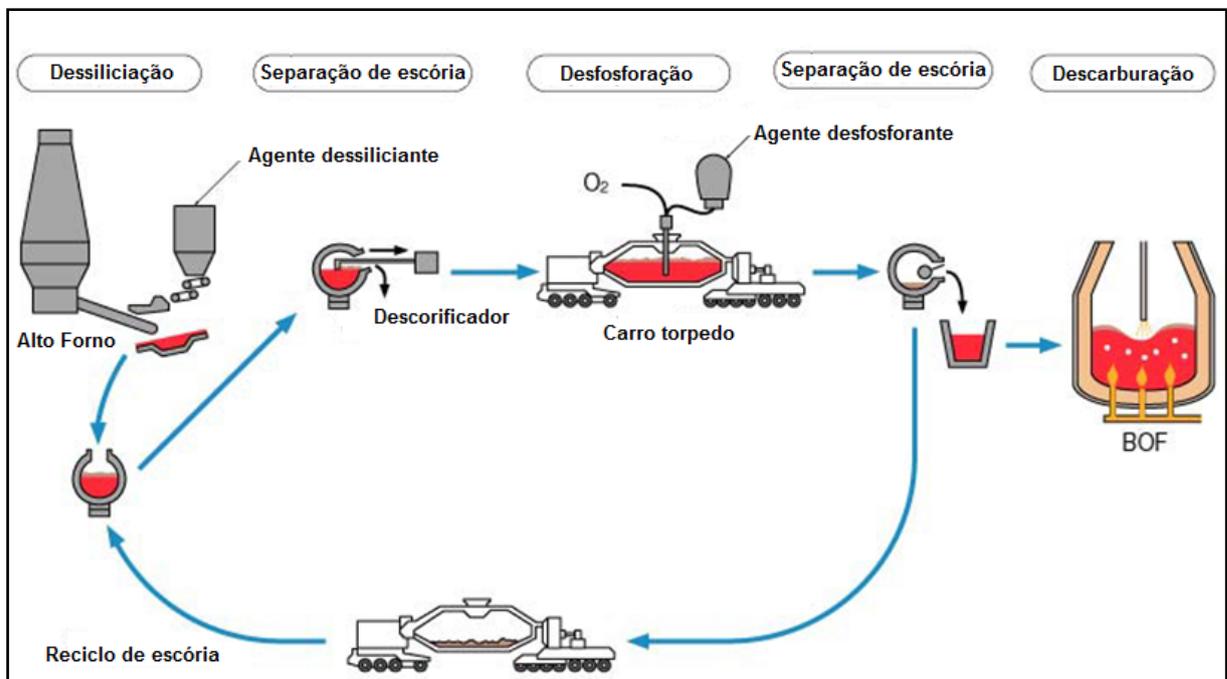


Figura 58. Representação esquemática do processo de pré-tratamento de ferro gusa (metal quente).

Fonte: Iron and Steel Industry (2012).

A escória de alto forno apresenta-se como um importante coproduto, visto que pode ser utilizada como matéria prima para a fabricação de cimento. Ela é obtida em uma proporção de 30% em relação ao ferro gusa produzido. Sua composição típica é (%m/m): CaO (42,5%), SiO₂ (33,8%), Al₂O₃ (14,3%), MgO (0,5%), MnO (0,26%) e S (0,96%). Atualmente é crescente o número de fábricas de cimento que se instalam próximo a indústrias siderúrgicas, para aproveitamento em linha deste insumo (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

Outro coproduto formado é o gás de alto forno, que deixa esse equipamento pelo topo, com vazão de 1.533 Nm³ por tonelada de gusa produzido, juntamente com

partículas de finos (16 kg/t gusa), a uma temperatura de 157 °C e pressão de 0,25 MPa (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

Analisando-se a qualidade do GAF, percebe-se que se trata de um gás pobre quando comparado a outros combustíveis, inclusive ao gás de coqueria. A Tabela 11 apresenta uma comparação entre GAF e GCO (ARAÚJO, 1997).

Tabela 11. Comparação entre GAF e GCO quanto a composição e poder calorífico.

Gás	Gás de Alto Forno (GAF)	Gás de Coqueria (GCO)
Composição (% base molar úmida)	-	-
N ₂	55 – 63	4,1 – 6,3
CO	22 – 30	6
CO ₂	6 – 13	2
CH ₄	0,4 – 1,0	26,4
C _m H _n	-	3,1
H ₂	0,5 – 0,9	57,7
Poder calorífico (kJ/Nm ³)	3.140 – 3.768	15.910 – 18.420

Fonte: ARAÚJO (1997).

A despeito de possuir um conteúdo energético inferior ao de outros combustíveis, o gás de alto forno pode ser utilizado como combustível na própria siderúrgica, em muitas aplicações práticas, como por exemplo, nos regeneradores do próprio alto forno, nos fornos da coqueria ou da laminação e em termelétricas. No entanto, previamente, o gás de alto forno deve passar por um sistema de limpeza de gases, para separação das partículas sólidas, que por sua vez são coletadas na forma de pó ou lama e podem ser reaproveitadas na sinterização, em unidades de briquetagem ou comercializadas para outras aplicações. Uma grande variedade de equipamentos pode ser utilizada para limpeza do GAF, como, por exemplo, balões gravimétricos, ciclones, filtros de mangas, precipitadores eletrostáticos, coletores úmidos e lavadores de gás (RIZZO, 2009).

Os gases gerados no topo do alto forno são captados e, após passar por válvulas de controle de pressão (*bleeder*), são conduzidos por meio de tubulações de escoamento descendente (*downcomer*) para instalação de limpeza primária, que ocorre por via seca em coletores de pó, que podem ser balões gravimétricos ou ciclones, sendo conduzidos posteriormente para instalações de limpeza secundária,

que ocorre por via úmida em lavadores de gases, a fim de que ocorra uma separação adicional de material particulado não retido por via seca. Segundo Rizzo (2009) o gás de alto forno tem sua concentração de material particulado reduzida de 5.000 a 20.000 mg/Nm³ para 2.500 mg/Nm³ após passar pelo sistema de limpeza primária e para 5 a 10 mg/Nm³ após passar pelo sistema de limpeza secundária. O autor considera também que em instalações mais recentes o sistema de lavagem de gases tem sido substituído por filtros de mangas e precipitadores eletrostáticos, o que repercute em um menor consumo de água e uma menor geração de efluentes, tendo em vista a operação destes equipamentos por via seca.

O resfriamento da soleira do cadinho pode ser feito com a aplicação de um *spray* externo de água na carcaça, *staves coolers* internos, que são placas de ferro fundido com serpentinas de aço por onde circula água de resfriamento, colocada entre o refratário e a chapa de aço da blindagem externa, ou por um dispositivo denominado *double shell*, que são tubulações instaladas sob uma chapa de vedação. O resfriamento das paredes laterais do alto forno pode ser realizado utilizando-se placas de refrigeração, *stave coolers*, *spray* de água ou jaquetas. As placas ou caixas de refrigeração são confeccionadas com cobre, um excelente condutor térmico, e dispostas entre os tijolos de revestimento refratário. As jaquetas, assim como o sistema de *spray* de água, atuam na parte externa da carcaça metálica, diferenciando-se na forma de aplicação de água. Enquanto no *spray* ocorre o contato de um filme líquido com a superfície metálica, nas jaquetas o resfriamento da chaparia externa e dos refratários é realizado por meio de tubulações fixadas diretamente à superfície externa do forno (RIZZO, 2009).

O resfriamento das ventaneiras é realizado por um anel oco de cobre, refrigerado com água, chamado resfriador suporte, que é colocado junto ao orifício circular do revestimento refratário (ARAÚJO, 1997).

4.1.4.2.3 Processo 1.3 - Conversão e refino

Este processo não necessitou ser decomposto, uma vez que já se encontrava em último nível de decomposição hierárquica e sua decomposição já resultava em fontes de poluição.

A conversão e o refino são operações que ocorrem dentro dos limites da unidade siderúrgica denominada aciaria, onde o ferro gusa é convertido em aço em

um equipamento denominado convertedor (ou conversor) e posteriormente refinado, de acordo com as especificações metalúrgicas necessárias para posterior aplicação (EUROPEAN UNION, 2013c).

(i) Conversão e refino primário

O equipamento usualmente empregado na siderurgia integrada para a conversão de ferro gusa em aço é o conversor LD, cujo nome está associado às cidades austríacas de Linz e Donawitz, onde a conversão com uso de insuflação de oxigênio foi instalada de forma experimental no início dos anos 1950. Quando a insuflação ocorre pela parte superior e é integralmente de oxigênio, classifica-se o conversor como LD-BOF, do inglês *Basic Oxygen Furnace*. Recentemente, é comum ter instalações dedicadas para um pré-tratamento do gusa líquido, ou mesmo um pré-refino, de forma a melhorar o refino primário no conversor e reduzir seu custo. Destacam-se as seguintes operações (MALYNOWSKYJ, 2007):

- Dessiliciação: a redução da concentração de silício no gusa proporciona um menor custo na fabricação do aço e melhora sua qualidade. Esta operação pode ser realizada na calha de corrida do alto forno ou em carros torpedo ou panela de gusa, com a adição de reagentes apropriados, com ou sem utilização de condutor de gás, como por exemplo, nitrogênio;
- Desfosforação: de forma análoga, a redução do teor de fósforo possibilita a redução do custo total de refino do aço. Siderúrgicas que não detém esta tecnologia ficam dependentes unicamente da qualidade das matérias primas, cuja disponibilidade em alta qualidade cada vez mais limitada atribui valor de mercado cada vez maior ao ferro gusa.
- Dessulfuração: é realizada através da injeção de reagentes à base de cal e magnésio em carros torpedos ou em painéis na própria aciaria. Este processo é muito utilizado na siderurgia integrada, pois o processo LD não oferece condições termodinâmicas e cinéticas para remoção de enxofre.

A transformação do gusa líquido em aço envolve (ARAÚJO, 1997):

- a diminuição dos teores de carbono, silício, fósforo, enxofre e nitrogênio a níveis bastante baixos;

- a adição de sucata ou minério de ferro para ajustar a temperatura do aço bruto;
- o ajuste dos teores de carbono, manganês, elementos de liga e da temperatura no forno ou panela de vazamento.

O conversor LD é constituído de uma carcaça metálica externa, revestida de material refratário e sustentado por um anel que possui dois munhões, o que permite um giro de 360°. É constituído de fundo, cone inferior, parte cilíndrica, cone superior e boca (ARAÚJO, 1997). As matérias primas, quais sejam, gusa líquido, gusa sólido, sucatas de aço e de ferro fundido, minério de ferro, cal e fluorita são carregadas pela boca do conversor, em diferentes momentos, e submetidas à insuflação de oxigênio, através de uma lança, que em contato com a carga metálica gera calor, devido às reações exotérmicas de oxidação, que transferem as impurezas para a camada sobrenadante de escória (UNITED STATES STEEL, 1985). Uma representação esquemática de um conversor LD tipo BOF é apresentada na Figura 59, enquanto uma imagem do carregamento de gusa em um conversor LD é mostrada na Figura 60 (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

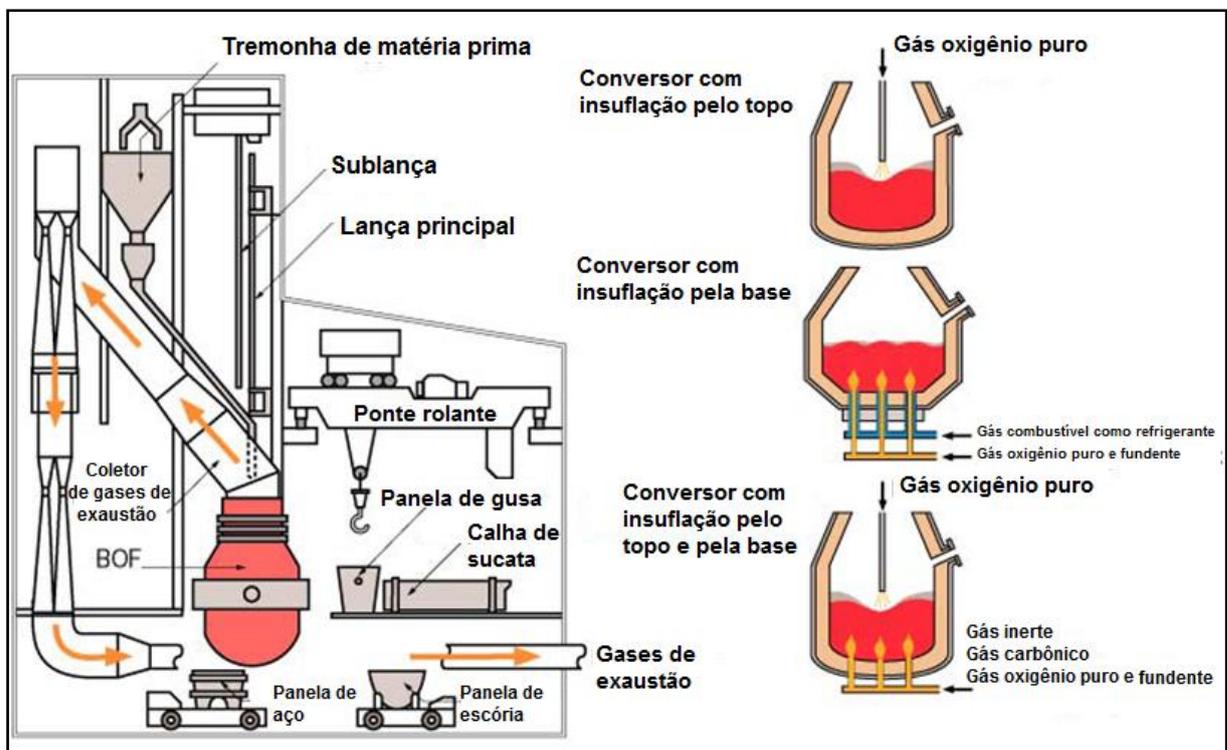


Figura 59. Representação esquemática de um conversor LD tipo BOF.
Fonte: Iron and Steel Industry (2012).



Figura 60. Carregamento de ferro gusa no conversor LD, com auxílio de pontes rolantes.
Fonte: European Union (2013c).

Dados típicos de processo mostram que para fabricação de uma tonelada de aço são necessários 1033 kg de gusa líquido, 28 kg de sucata, 4 kg de gusa sólido, 23 kg de cal, 11 kg de ferro-ligas, 8 kg de dolomita e 50 Nm³ de oxigênio de alta pureza (99%). O gusa líquido apresenta composição, após pré-tratamento, de (%m/m): 4,30% C, 0,01% Si, 0,20% Mn, 0,04% P e 0,01% S (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012). Uma usina siderúrgica equipada com um alto forno e dois conversores de 300 t pode atingir 4 milhões de toneladas de aço bruto por ano (Mtpa) (ARAÚJO, 1997).

O tempo do ciclo completo, desde o carregamento das matérias primas, sopro, medições e análises de qualidade e vazamento, do aço e da escória, varia entre 35 e 45 minutos (MALYNOWSKYJ, 2007). O aço produzido apresenta composição típica (%m/m) de: 0,04% C, 0,01% Si, 0,15% Mn, 0,01% P e 0,007% S (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

Enquanto o aço segue para as instalações de refino secundário, ou eventualmente direto para o lingotamento, a escória de aciaria, produzida em uma proporção de 50 kg por tonelada de aço produzido, segue para unidades de beneficiamento, para ser posteriormente utilizada em um gama de aplicações, dentre as quais se desta o uso como sub-bases para pavimentação de estradas (EUROPEAN UNION, 2013c).

Outro coproduto importante é o gás de aciaria, formado em uma proporção de 101 Nm³ por tonelada de aço produzido. O gás proveniente do conversor LD (GLD), apresenta a seguinte composição (%v/v): 70% CO, 10-15% CO₂, 13% N₂ e 1-2% H₂ (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012), e apresenta um poder calorífico de 8.373 kJ/Nm³, valor que representa, em média, o dobro do poder calorífico do gás de alto forno e a metade do poder calorífico do gás de coqueria (ARAÚJO, 1997). Por este motivo o gás de aciaria pode ser reaproveitado no próprio complexo siderúrgico como combustível, devendo previamente, no entanto, passar pelas operações de resfriamento, limpeza e armazenamento.

O resfriamento pode ser realizado utilizando-se uma torre de resfriamento seguida de lavador tipo Venturi (resfriamento de 1000°C para 80°C) ou de precipitador eletrostático (resfriamento de 1000°C para 150°C), ambos permitindo concentração final de material particulado inferior a 100 mg/Nm³. Uma representação esquemática de um conversor LD é apresentada na Figura 61.

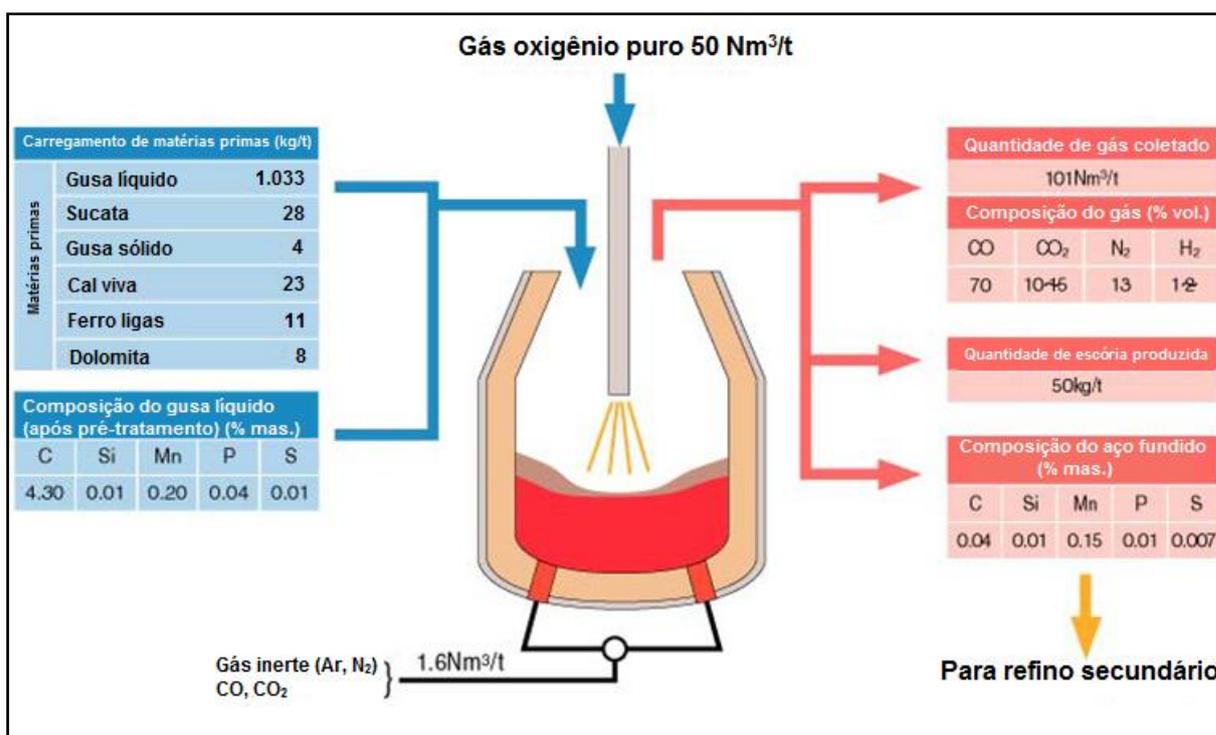


Figura 61. Representação esquemática da operação de um conversor LD (Fonte: Iron and Steel Industry, 2012).

(ii) Refino secundário

O refino secundário, em complementação ao refino primário, que ocorre no conversor, em verdade é um conjunto de operações visando à eliminação de impurezas no aço, que variam em função do tipo de aço que se deseja produzir.

As impurezas, dentre as quais se destacam oxigênio, enxofre, nitrogênio e fósforo, se não retiradas, formam compostos denominados inclusões, na forma de óxidos, sulfetos e nitretos, que na maior parte do tempo são prejudiciais para as propriedades mecânicas e/ou características desejadas no aço, causando: diminuição da plasticidade, diminuição da tenacidade, formação de trincas e formação de defeitos superficiais. Outro contaminante que pode ocasionar o surgimento de trincas internas é o hidrogênio. Dentre os contaminantes apresentados o único que é satisfatoriamente removido no refino primário, realizado no conversor, é o fósforo (BOLOTA, 2007).

Segundo a mesma referência, o aço bruto proveniente do conversor é vazado em uma panela, a uma temperatura situada entre 1.550 e 1.650 °C, que funciona ao mesmo tempo como meio de transporte e reator metalúrgico, onde poderão ser processadas as diversas operações de remoção de impurezas (desoxidação, dessulfuração e desgaseificação) e ainda o acerto da composição química do aço, a descarburagem (remoção de carbono) e a alteração da morfologia das inclusões remanescentes. Segundo Faco (2007), a capacidade de uma panela varia entre 160 e 300 toneladas. Devido à importância deste equipamento, é comum se referir ao refino secundário de aço líquido como metalurgia de panela.

As instalações do refino secundário variam de acordo com as impurezas que se deseja remover e as características esperadas do aço refinado. A seguir apresenta-se uma descrição de quatro processos usualmente empregados no refino secundário, sendo a representação esquemática dos mesmos apresentada na Figura 62 (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012); (BOLOTA, 2007):

- LF (*Ladle Furnace*) – O forno panela apresenta-se como o mais tradicionalmente empregado no refino secundário. É constituído de transformador, eletrodos de grafite, abóboda de cobertura, tremonha para adição de ligas, sistema de exaustão de fumos e sistema de alimentação de gás inerte pelo fundo, para permitir agitação do metal líquido. Os equipamentos dispostos sobre a panela promovem a desoxidação e a

dessulfuração, além do controle de temperatura por aquecimento químico, o acerto da composição química e o controle de morfologia de inclusões;

- RH (*Ruhrstahl-Heraeus*) – Esta instalação representa uma evolução de outra tecnologia, denominada DH, e consiste basicamente em submeter parte do aço contido na panela à ação de vácuo, por meio de um vaso instalado sobre a panela, sendo a comunicação realizada por meio de dois canais, que mantém uma circulação contínua do aço. É utilizado para promover a desgaseificação, desoxidação e dessulfuração, além de controlar a temperatura por aquecimento químico e promover ajuste na composição química;
- VOD (*Vacuum Oxygen Decarburization*) – é constituído de uma câmara de vácuo com lança para insuflação de oxigênio, sistema de adição de ferro ligas e sistema de exaustão de fumos. Esta configuração é utilizada principalmente para a fabricação de aços inoxidáveis, que demandam adição de liga de ferro/cromo com alto teor de carbono. Além da descarburização, demandada pela adição da ferroliga citada, este sistema promove a desoxidação, a dessulfuração, a desgaseificação, o controle de temperatura por aquecimento químico e a ajuste na composição química;
- AOD (*Argon Oxygen Decarburization*) – semelhante ao sistema VOD, contudo diferencia-se, pois, a redução da pressão parcial de CO não é feita utilizando-se vácuo, mas sim, pela diluição dos gases gerados em argônio, que é injetado pelo fundo por meio de lanças com tubos capilares. Desta forma, o mecanismo da reação de oxidação de carbono em CO é deslocado e a reação de descarburização favorecida. Esta instalação também é dedicada para a fabricação de aços inoxidáveis, que depende da adição da liga ferro/cromo de alto teor de carbono. Como os demais, este sistema também possui lança para a injeção de oxigênio e sistema de remoção de fumos, podendo promover além da descarburização, a desoxidação, a dessulfuração, o controle de temperatura e o ajuste da composição química. Destacam-se como vantagens em relação ao sistema VOD a não necessidade de panela, além de apresentar maior produtividade.

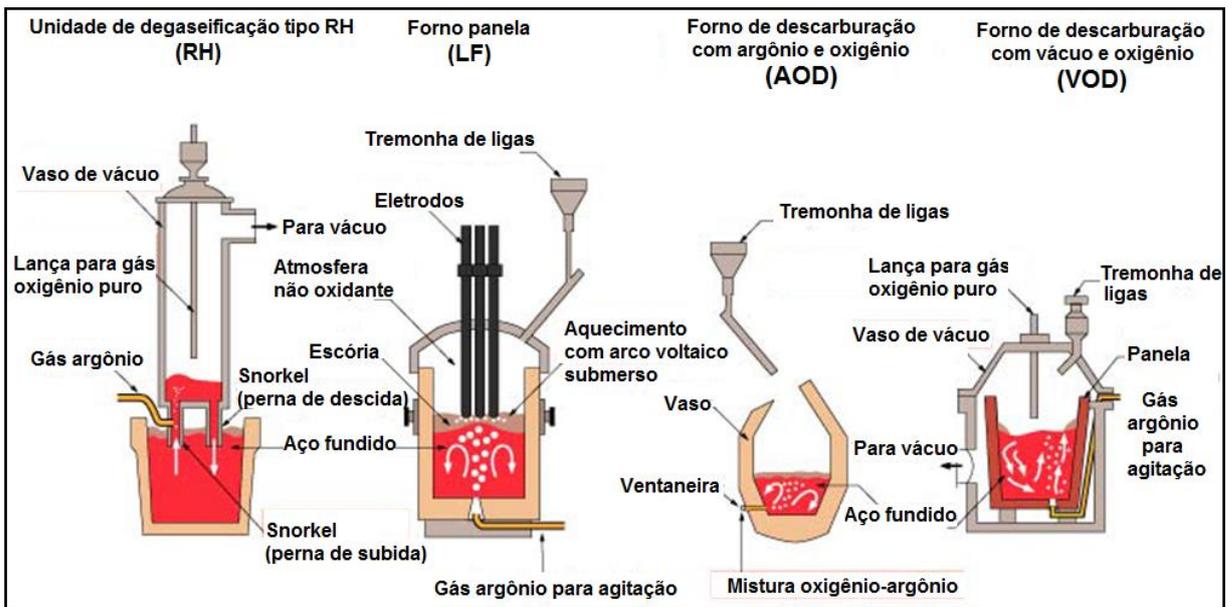


Figura 62. Representação de instalações típicas no refino secundário

(Fonte: Iron and Steel Industry, 2012).

O produto do refino secundário é um aço de melhor qualidade, quando comparado com o aço obtido no conversor ou refino primário, que segue para operação de lingotamento, que será descrita na próxima subseção.

4.1.4.2.4 Processo 1.4 - Lingotamento

Este processo não necessitou ser decomposto, uma vez que já se encontrava em último nível de decomposição hierárquica e sua decomposição já resultava em fontes de poluição.

A panela contendo aço refinado, proveniente da etapa descrita anteriormente, é disposta na torre da máquina de lingotamento contínuo, que constitui a forma mais empregada de solidificação do aço, podendo ser de molde reto (totalmente horizontal, totalmente vertical ou vertical com dobramento de veio) ou curvo (com um ou vários raios de dobramento posterior). De uma forma geral, a operação desta unidade baseia-se no vazamento do aço verticalmente, através de válvula gaveta localizada no fundo da panela, disposta na torre, e de um distribuidor para dentro de um molde de cobre resfriado com água, com abertura inferior e superior, para permitir a passagem do metal (ARAÚJO, 1997). Uma representação esquemática da solidificação do aço é apresentada na Figura 63.

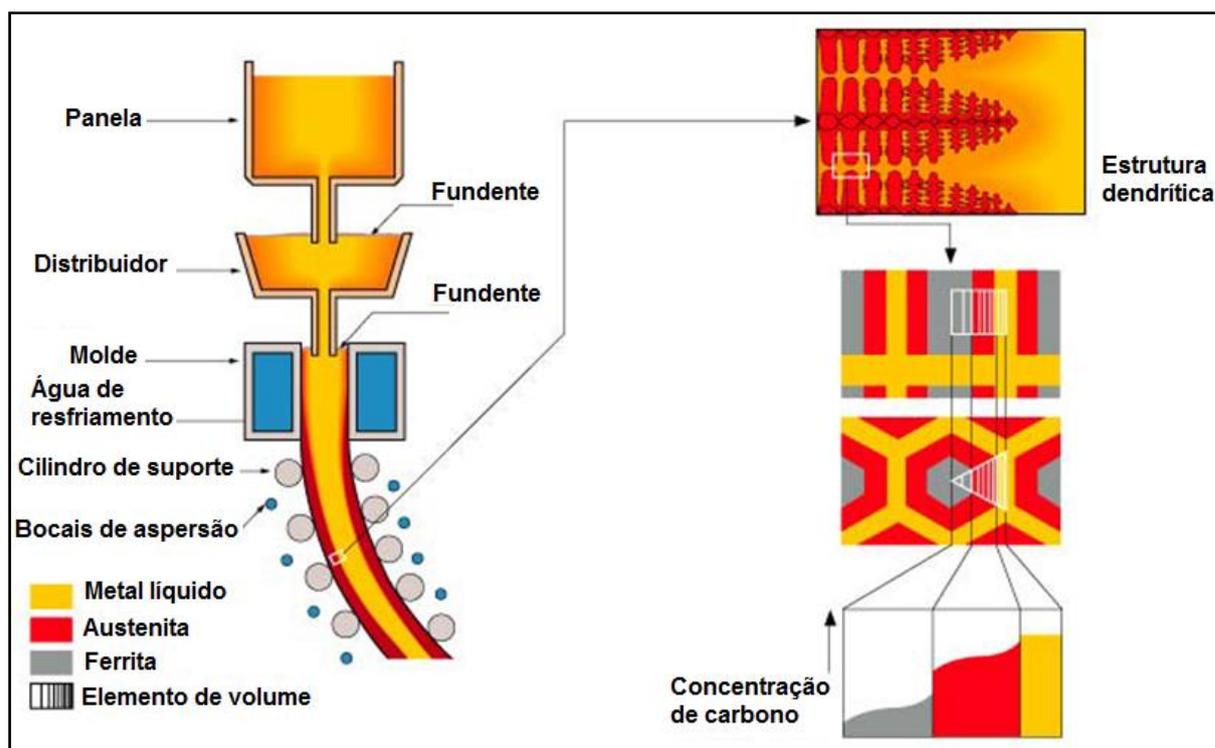


Figura 63. Representação da solidificação e segregação no processo de lingotamento contínuo do aço.

Fonte: Iron and Steel Industry (2012).

Os moldes extraem calor do aço líquido, o que provoca a formação de uma camada solidificada com espessura entre 10 e 30 mm, cuja aderência aos moldes é evitada utilizando-se um óleo lubrificante (FACO, 2007). Em sequência o veio de aço é puxado pelos rolos extratores da máquina de lingotamento contínuo.

Além da perda de calor por condução, através dos rolos, o veio de aço perde calor por radiação, para o ambiente, e por convecção, por meio da aspersão de água, em uma proporção de 1 m³ por tonelada de aço lingotado, através de conjunto de chuveiros distribuídos entre os pares de rolos da máquina de lingotamento contínuo, o que permite que a espessura de material solidificado aumente até compreender todo o aço contido no veio. A velocidade de solidificação do veio varia de acordo com a sua espessura. Como exemplo, pode-se citar que um bloco de aço com dimensões 250 x 250 mm apresenta velocidade de solidificação entre 0,8 e 1,0 m/min e uma produção associada de 27 a 30 t/h. Após ter o núcleo resfriado, o que ocorre a uma temperatura entre 700 e 900 °C, o aço é seccionado por oxi-corte e inspecionado antes de ser enviado para a laminação (ARAÚJO, 1997).

Segundo a mesma referência, as dimensões típicas de produtos lingotados são (mm): placa: 210 x 800 ou 250 x 1200; tarugo: 100 x 100 ou 150 x 150; bloco: 250 x 250 ou 300 x 400; e redondos: 175 ou 220 de diâmetro. Valores aproximados para comprimento situam-se entre 2,2 e 12,0 m, podendo chegar até a 50 m, dependendo do projeto. Uma representação esquemática de uma unidade de lingotamento contínuo é apresentada na Figura 64, enquanto a imagem de uma máquina em operação, com destaque para placa com crosta recém-formada, é mostrada na Figura 65 (IRON AND STEEL INDUSTRY, 2012).

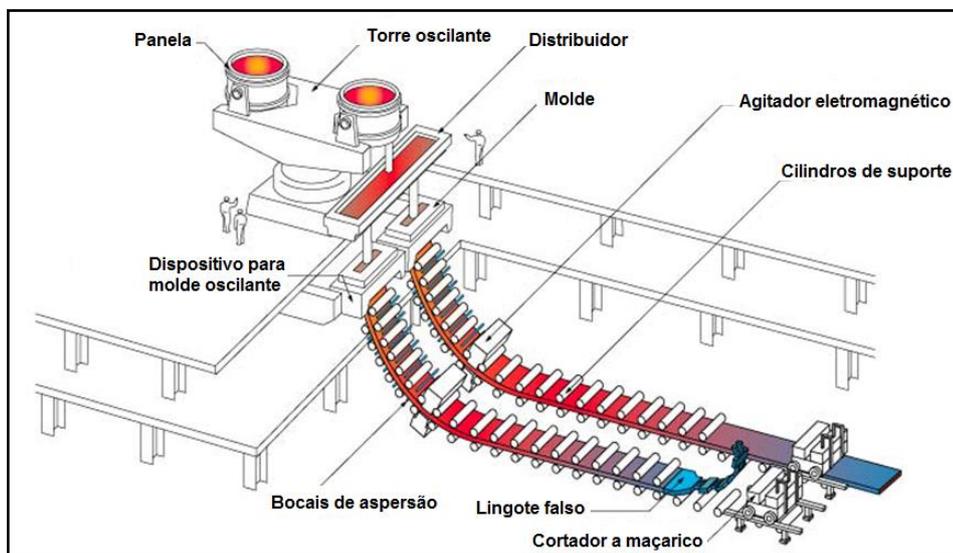


Figura 64. Representação esquemática de uma unidade de lingotamento contínuo (Fonte: Iron and Steel Industry, 2012).



Figura 65. Máquina de lingotamento contínuo em operação (Fonte: Iron and Steel Industry, 2012).

4.1.4.2.5 Processo 1.5 - Laminação

Este processo não necessitou ser decomposto, uma vez que já se encontrava em último nível de decomposição hierárquica e sua decomposição já resultava em fontes de poluição.

A laminação é um processo de conformação mecânica que consiste na passagem de um corpo sólido (peça) entre dois cilindros (ferramentas) que giram à mesma velocidade periférica, contudo em sentidos contrários. Ao passar pelos cilindros, dispostos em aberturas decrescentes, a peça inicial sofre deformação plástica, o que resulta na redução da seção transversal e no aumento do comprimento e largura. Uma unidade de laminação é complexa e diversificada, podendo apresentar várias sequências de operação. A laminação apresenta-se como o principal processo de transformação mecânica do aço, respondendo por uma parcela de 80% do total (GONÇALVES, 2007). Na Figura 66 é apresentada uma representação esquemática de linhas e produtos de laminação (GORNI, 2008).

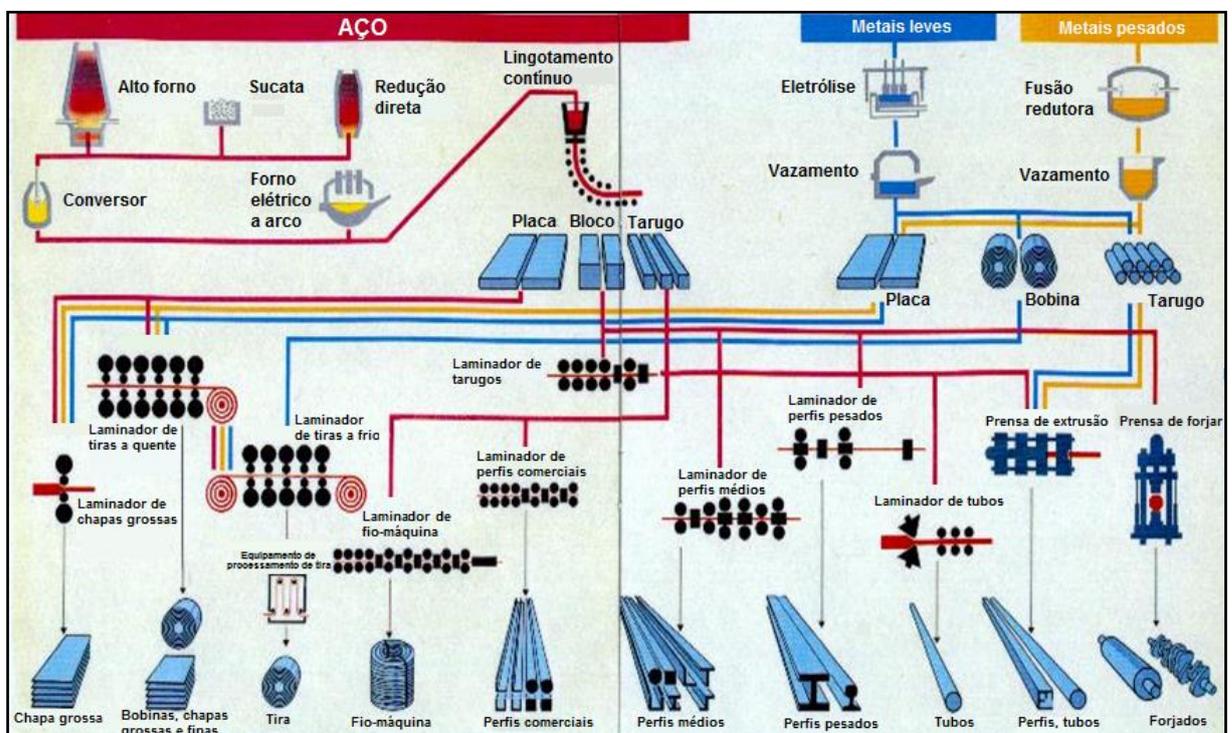


Figura 66. Representação esquemática de linhas e produtos de laminação.

Fonte: Gorni (2008).

É comum para os produtos siderúrgicos a adoção de uma primeira classificação como aços planos e não planos, sendo que o primeiro grupo assume especial destaque na siderurgia integrada, motivo pelo qual lhe será dada ênfase no presente trabalho.

Entende-se por produtos planos aqueles cuja forma da seção transversal é retangular, sendo que a largura do produto é várias vezes maior do que a sua espessura. Produtos não planos, ao contrário, têm sua seção transversal diferente da forma retangular, sendo exemplos perfis em forma de H, I, U, trilhos, dentre outros. Os produtos siderúrgicos podem também ser classificados em semiacabados, dentre os quais se destacam bloco, tarugo e placa, ou acabados: bobinas (bobina fina (a frio ou a quente) e bobina grossa); chapas (chapa fina (a frio ou a quente) e chapa grossa); fitas de aço para embalagem; folhas; tiras (tira cortada e tira relaminada a frio); e rolo (MACHADO, 2003).

As placas de aço, principal produto da siderurgia integrada, provenientes do lingotamento contínuo podem ser laminadas resultando nos seguintes tipos e aplicações (MALYNOWSKYJ, 2007):

- Chapas grossas: uso geral, estrutura geral, estrutura soldável, naval, tubos, vasos de pressão e caldeiras, longarinas para chassis de veículos, cubas de galvanização, dentre outros;
- Bobinas/chapas/tiras a quente: uso geral, estrutura geral, estrutura soldável, naval, plataforma, tubo, longarina para chassis de veículos, estampagem, botijão, cubas de galvanização, rodas, dentre outros; e
- Bobinas/chapas/tiras a frio: estruturas, estampagem média e profunda, indústria automobilística, estrutura soldável, aplicações eletromagnéticas, dentre outros.

Dependendo das dimensões e da estrutura da peça, a laminação pode ser conduzida a frio ou a quente. Normalmente, a laminação a quente é usada para as operações de desbaste e a laminação a frio para as operações de acabamento. As principais etapas para obtenção de produtos laminados são (UNITED STATES STEEL, 1985); (MACHADO, 2003); (GONÇALVES, 2007); (YOKOJI, 2007); (GORNI, 2008):

i) Preparação do material inicial para a laminação

As placas, após serem lingotadas, são resfriadas, inspecionadas, e armazenadas até posterior utilização na própria usina siderúrgica ou expedição para terceiros, podendo ser transportadas por carros de transferência e/ou pontes rolantes.

ii) Aquecimento do material inicial

Esta operação é usualmente realizada em fornos de reaquecimento e cumpre por objetivo elevar a temperatura da placa de aço, até temperatura entre 1.100 e 1.350 °C, controlando além deste parâmetro o tempo de residência, que é de cerca de 8 a 12 h, e as condições de combustão, na qual se emprega gás de coqueria como combustível, conforme visto anteriormente, de forma a reduzir a formação de óxidos superficiais na peça. O aumento de temperatura é essencial para tornar o material plástico o suficiente para sofrer grandes reduções em sua seção, nas operações subsequentes de laminação (EUROPEAN UNION, 2013c).

iii) Laminação a quente

A laminação a quente é aplicada em operações iniciais de desbaste, caracterizadas pela necessidade de grandes reduções de seções transversais. As peças passam por cilindros laminadores em uma temperatura de trabalho superior a temperatura de recristalização do metal, de forma a reduzir a resistência à deformação plástica em cada passagem e permitir a recuperação da estrutura do metal, evitando o encruamento para os passes subsequentes. Esta etapa é ideal para grandes deformações, pois o material encontra-se muito macio, no entanto, deve-se ressaltar que a qualidade superficial do laminado a quente é, em geral, grosseira (GONÇALVES, 2007).

A principal matéria prima da unidade de laminação a quente em uma usina siderúrgica integrada é a placa de aço. Os principais produtos obtidos são as bobinas/chapas grossas e as bobinas/chapas finas a quente, obtidos em duas unidades de laminação distintas, cada uma dedicada para a obtenção de um produto

semiacabado específico. Estas unidades costumam ser denominadas de acordo com o produto de laminação obtido: laminação de chapas grossas e laminação de tiras a quente.

Segundo a mesma fonte, a laminação de placas em bobinas/chapas grossas é conduzida para transformar a estrutura cristalina grosseira da placa de aço oriunda do lingotamento contínuo em uma estrutura de grãos finos, por meio de uma deformação plástica intensa seguida de recristalização, ocasionando também um reordenamento dos vazios internos provenientes da solidificação da placa. As bobinas/chapas grossas possuem espessura variando entre 6 e 200 mm e largura variando entre 1.000 e 3.800 mm, com comprimento de 5.000 a 18.000 mm.

A obtenção de bobinas/chapas finas, com espessura variando entre 1,20 e 16 mm e largura entre 800 e 2.000 mm, pode ocorrer a partir das bobinas/chapas grossas, com a utilização dos seguintes equipamentos: fornos de reaquecimento contínuo, laminador quebrador de carepa, laminador transversal, redutor de chapas grossas, tesoura de corte de chapa a quente, conjunto de laminadores de desbaste, tesoura de corte das extremidades, laminador quebrador de carepa, laminador de tiras a quente de acabamento e bobinadeiras. Aproximadamente 75% do material laminado a quente é conduzido para a linha de decapagem, sendo o restante enviado para a unidade de acabamento de chapas a quente, para o corte da bobina em chapas e, se necessário, para um laminador de acabamento.

iv) Acabamento e/ou tratamento térmico

Caso o produto laminado a quente seja o produto final de interesse, o mesmo pode ser submetido à laminação de acabamento e de encruamento, de forma a melhorar a planicidade e o acabamento superficial. A melhoria da planicidade também pode ser obtida por meio de um aplainamento por rolos ou por estiramento (GONÇALVES, 2007).

Segundo esse autor, outra operação importante é o tratamento térmico de normalização ou de recozimento contínuo. A normalização consiste no aquecimento do aço a uma temperatura entre 730 e 900 °C e, em seguida, submetê-lo a um resfriamento abrupto, com jatos de água, para evitar a formação de cristais grandes de ferrita. Desta forma, consegue-se refinar a estrutura e obter uma melhor distribuição e tamanho das partículas de carboneto. Posteriormente, o aço é aquecido

novamente, a uma temperatura de cerca de 675°C. Neste forno, as tensões são eliminadas, formando-se uma nova estrutura de perlita lamelar em uma matriz de ferrita. O tratamento térmico por recozimento será abordado no item (vii).

v) Decapagem

Os laminados a quente que seguem no processo para a obtenção de outros produtos apresentam como característica a presença de óxidos superficiais que devem ser removidos para não comprometer o desempenho das operações a jusante. Nos processos de laminação a frio e, posteriormente, de estampagem, por exemplo, os óxidos causam defeitos superficiais, enquanto que os processos de revestimento superficial têm sua qualidade reduzida, pois os óxidos impedem a aderência dos revestimentos metálicos ou de tintas.

A operação dedicada à remoção destes óxidos é conhecida como decapagem ácida, que consiste na imersão da peça em um banho de solução de ácidos inorgânicos em água, usualmente ácido clorídrico e ácido sulfúrico, com adição opcional de inibidores e umectantes. Ao final deste processo as bobinas passam por secagem e recebem aplicação de óleo protetivo para prevenir a corrosão, sendo enroladas, formando bobinas. Estas bobinas podem ser enviadas para o laminador de tiras a frio, ao laminador de folhas-de-flandres ou, em menor quantidade, para o acabamento dos produtos laminados a quente (EUROPEAN UNION, 2013c).

vi) Laminação a frio

A laminação a frio é aplicada para as operações finais, reservadas ao acabamento, após o qual se espera uma boa qualidade superficial, o que significa dizer com baixa rugosidade e alta precisão de bitola. A matéria prima desta etapa é a bobina proveniente da laminação a quente. A temperatura de trabalho, neste caso, é a temperatura ambiente, que é inferior a temperatura de recristalização, o que resulta em uma maior resistência à deformação, que se torna mais pronunciada quanto maior a deformação, não permitindo reduções elevadas na seção transversal (GONÇALVES, 2007).

De acordo com essa mesma referência, a despeito destas condições, é possível realizar uma redução de espessura da ordem de 25% a 90%. Esta redução

provoca a elevação da temperatura da peça e dos cilindros, atingindo na peça temperaturas entre 65 °C e 120 °C, podendo chegar a 200 °C nos trens de laminação de alta velocidade. O resfriamento destas superfícies é realizado com o jateamento de mistura de óleo solúvel e água.

Usualmente, parte das bobinas laminadas a frio é destinada para limpeza eletrolítica, e, posteriormente para um forno de tratamento térmico, usualmente forno em campânula ou forno contínuo de recozimento, e laminador de encruamento, para elevar a resistência, a planicidade e o acabamento superficial. Em seguida, após passar novamente por limpeza eletrolítica, as bobinas são conduzidas para uma linha contínua de galvanização. Outra parte dos laminados a frio segue para a laminação de folha-de-flandres, para redução adicional da espessura, passando posteriormente por limpeza eletrolítica, recozimento, laminador de encruamento e linha de estanhamento eletrolítico.

Ao final do processo as bobinas laminadas a frio seguem para o carretel de rebobinamento ou são cortadas na forma de chapas, seguindo para posteriores armazenamento e expedição. Produtos laminados a frio apresentam espessuras que variam de 0,38 a 3,00 mm e largura de 800 a 1.870 mm, e se destinam a aplicações mais nobres que dos produtos laminados a quente, sendo utilizados para confecção de produtos que demandam espessuras mais finas, como automóveis e eletrodomésticos.

vii) Tratamento térmico

Como visto anteriormente, o tratamento térmico de produtos planos pode ocorrer por meio das operações de normalização e recozimento. A normalização foi apresentada no item (iv), sendo a seguir apresentada a operação de recozimento (GONÇALVES, 2007).

Inicialmente, as bobinas passam por limpeza eletrolítica, usualmente em banho alcalino, seguida de limpeza com escovação e jatos de água, fria e quente, para remoção dos resíduos, dentre os quais se destacam óleos, graxas e sujidades provenientes da laminação a frio. Após a limpeza as bobinas são secas, rebobinadas e armazenadas.

A operação de recozimento consiste no aquecimento de bobinas ou chapas de aço, sob atmosfera protetora, em batelada no forno de recozimento em caixa ou em

forno de recozimento contínuo. Esta operação tem como objetivo recuperar a ductilidade e remover tensões internas ocasionadas pela laminação a frio.

Contudo, as chapas de aço, quando deixam a operação de recozimento não se encontram apropriadas para o uso, sendo necessária a operação de laminação de encruamento (*skin pass*). Nesta operação, a peça recozida passa por laminadores especiais visando recuperar a capacidade de se deformar de maneira diretamente proporcional ao esforço aplicado, sem que ocorram linhas de distensão em peças estampadas, comprometendo sua estética e integridade.

viii) Acabamento e revestimento

Inicialmente, as bobinas passam por limpeza eletrolítica, usualmente em banho alcalino, seguida de decapagem em banho ácido. Em seguida, os produtos laminados recebem um revestimento protetor contra corrosão, sendo o mais comum o revestimento com zinco, cuja deposição pode ocorrer através da imersão a quente da chapa metálica em banho de zinco líquido ou por deposição eletroquímica.

Pode-se ainda promover o revestimento utilizando-se outros metais, como estanho e cromo, em processos de galvanização. O estanho é usualmente utilizado no revestimento de aço para fabricação de folha-de-flandres, chapas muito finas, com espessura entre 0,20 e 0,30 mm, utilizadas largamente pela indústria de alimentos enlatados. Outra alternativa para aplicação de revestimento de chapas de aço são as tintas, encontradas em uma grande variedade, de acordo com a aplicação desejada.

Finaliza-se com o processo acima a descrição do processo de fabricação do aço em usinas siderúrgicas integradas.

4.1.4.2.6 – Consumo de água na indústria siderúrgica

Uma característica importante a ser considerada é o uso da água para fabricação do aço. Tal como muitas indústrias, as usinas siderúrgicas utilizam grandes quantidades de água em suas atividades, sendo o volume de água empregado bastante variável, conforme a configuração, a integração e a complexidade de seus processos constituintes, a capacidade de reutilização e a localização.

Embora não esteja presente na composição do aço, o processo de fabricação deste produto demanda grande quantidade de água, de forma que a disponibilidade de água se apresenta como fator decisivo para o desenvolvimento da atividade siderúrgica.

Suvio (2012) avaliou dados de gerenciamento do consumo de água em siderurgia, referentes a 29 usinas, que representam 8% (111 Mtpa) da produção mundial de aço. Os resultados mostraram que o consumo de água em diferentes siderúrgicas varia entre menos de 1 e 150 m³ por tonelada de aço produzido, dos quais 82% são utilizados com propósito de resfriamento. Dentre os principais fatores que determinam a quantidade e qualidade da água utilizada e dos efluentes líquidos descartados destacam-se a configuração da siderúrgica, a localização geográfica e a legislação vigente.

De uma forma geral a qualidade de água requerida é atendida com processos de tratamento simples, tais como, filtração, clarificação e neutralização. A reutilização de correntes aquosas pode ser obtida, portanto, a partir de técnicas físicas, químicas e físico-químicas, visando minimizar a formação de incrustações, reduzir os processos de corrosão e controlar o desenvolvimento microbiológico. A água destinada à geração de vapor deve ser adicionalmente submetida aos processos de descarbonatação, desmineralização e desaeração, de forma a reduzir a formação de películas isolantes ou pontos de corrosão nas tubulações que compõe a caldeira, que comprometeriam, por conseguinte, a sua integridade mecânica.

A utilização da água em unidades siderúrgicas varia consideravelmente de acordo com os requerimentos de processo. De uma maneira geral, a água é utilizada para três propósitos principais (JOHNSON, 2003):

- Transferência de calor – Representa o principal consumo de água em uma usina siderúrgica integrada. A obtenção de ferro gusa e, posteriormente, do aço, ocorre por meio de aquecimento das matérias primas a temperaturas da ordem de 1.425 a 1.650 °C, necessariamente superiores à temperatura de fusão do ferro, enquanto que operações de laminação a quente requerem o aquecimento de placas de aço a temperaturas entre 1.150 e 1.260 °C. Os equipamentos de processo são protegidos por uma combinação de revestimento refratário e resfriamento com água do refratário e da carcaça metálica do equipamento;

- Controle de poluição do ar e condicionamento de gases – As principais correntes de gases formados no processo siderúrgico integrado, quais sejam, gás de coqueria, gás de alto forno e gás de aciaria devem ser tratados, por meio de lavadores de gases, para remoção de poluentes do ar. São cada vez mais comuns plantas que reutilizam estas correntes de gases como alternativa a combustíveis fósseis em caldeiras para a cogeração de vapor e eletricidade. A água também é utilizada para a absorção de gases nas operações de acabamento;
- Condicionamento de materiais – em menor quantidade que nos dois casos anteriores, utiliza-se água com propósitos diversos, para melhorar a qualidade de matérias-primas e produtos ao longo da produção do aço. Dentre os principais exemplos podem ser citados os seguintes usos: como elemento aglomerante na mistura a sinterizar; na granulação de escória gerada pelos altos fornos; na remoção de carepa na laminação a quente; como solvente para ácido nas operações de decapagem; rinsagem nas operações de limpeza e como solvente nos banhos de deposição eletrolítica, nas operações de acabamento.

Segundo Johnson (2003), de uma forma geral, 75% do uso de água está associado a operações de transferência de calor, 13% ao controle de poluição do ar e 12% ao condicionamento de materiais. Um detalhamento do consumo de água por tonelada de aço é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12. Uso de água para várias unidades de operação em siderurgia.

Processo	Condicionamento de materiais (galão/t produto)	Controle de poluição do ar (galão/t produto)	Transferência de calor (galão/t produto)	Consumo de energia (MM Btu/t produto) ⁽¹⁾	Fração reciclada/ Reusada (%)
Coqueificação	200	250-300	8.000-8.500	5,1	0 ⁽²⁾
Caldeiras ⁽³⁾	-	-	40.000-120.000	7,5 ⁽⁴⁾	- ⁽⁵⁾
Sinterização	20-30	900-1.000	200	2,2	80
Alto forno	100-200	800-1.000	2.500-3.000	15,48	90
Caldeiras ⁽⁶⁾	-	-	20.000-60.000	3,2 ⁽⁷⁾	- ⁽⁵⁾
Aciaria BOF	100-200	800-1.000	2.500-3.000	1,17	50

Processo	Condicionamento de materiais (galão/t produto)	Controle de poluição do ar (galão/t produto)	Transferência de calor (galão/t produto)	Consumo de energia (MM Btu/t produto) ⁽¹⁾	Fração reciclada/ Reusada (%)
Processo de Redução Direta (DRI)	70-80	Desprezível	200-250	8,3	80
Forno elétrico a arco (FEA)	Desprezível	Desprezível	2.000-2.500	5,65	80
Lingotamento Contínuo	Desprezível	Desprezível	3.000-3.500	0,15	70
Laminação de chapas grossas	1.000-2.000	Desprezível	7.000-8.000	3,0	30
Laminação de tiras a quente	400-600	Desprezível	7.000-8.000	2,2	60
Decapagem ácida	30-40	80-100	20-30	0,2	70
Laminação de tiras a frio	50-100	Desprezível	2.500-3.000	4,2	90
Revestimento	60-70	1-10	1.200-1.800	5 – 8 ⁽⁸⁾	80

Fonte: Johnson (2003).

(1) MM Btu significa 1×10^6 British Thermal Units.

(2) Plantas novas podem reciclar água de resfriamento.

(3) Caldeiras para conversão de gás de coqueria, alcatrão e óleos leves.

(4) Energia exportada na forma de gás, alcatrão e óleos leves.

(5) Varia de acordo com a idade das caldeiras.

(6) Caldeiras para conversão do gás de alto forno.

(7) Energia exportada na forma de gás de alto forno.

(8) Dependendo do processo ou produto.

Analisando-se a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, observa-se que dentre as unidades de processo as que mais consomem água em média são: coqueificação, laminação, redução e conversão. Dentre as unidades auxiliares, destacam-se as caldeiras integrantes das termelétricas que aproveitam o conteúdo energético dos gases siderúrgicos para a produção de vapor e eletricidade.

Ao mesmo tempo, o processo siderúrgico é caracterizado por elevadas perdas de água por evaporação, que ocorrem em operações como granulação de escória nos altos fornos e aciaria, apagamento de coque, aspersão de água para resfriamento de aço no lingotamento e laminação, além de perdas por evaporação e respingos em torres de resfriamento, utilizadas amplamente em sistemas de resfriamento tanto por

contato direto como por contato indireto (JOHNSON, 2003). A Tabela 13 apresenta as perdas por evaporação e geração de efluentes líquidos para várias operações siderúrgicas.

Tabela 13. Perdas por evaporação e geração de efluentes para várias operações siderúrgicas.

Processo	Reposição (galão/t produto)	Evaporação (galão/t produto)	Descarte de água de contato (galão/t produto)	Descarte de água de não contato (galão/t produto)	Taxa de reciclo/reuso (galão/t produto)
Coqueificação	8.800	230	260	8.310	- ⁽¹⁾
Sinterização	240	100	140	Desprezível	1.000
Alto forno	350	70	25	260	3.500
Aciaria BOF	2.100	120	140	1.840	2.050
Processo de Redução Direta (DRI)	290	20	Desprezível	270	1.000
Forno elétrico a arco (FEA)	250	Desprezível	Desprezível	250	2.000
Lingotamento Contínuo	1.000	10	10	980	2.200
Laminação de chapas grossas	6.700	30	2.300	3.000	2.700
Laminação de tiras a quente	3.100	30	1.750	15	4.700
Decapagem ácida	60	15	15	30	120
Laminação de tiras a frio	80	4	1	75	3.000
Revestimento	250	10	60	180	1.400

Fonte: Johnson (2003).

⁽¹⁾ Desprezível a significante, dependendo da idade da planta.

As correntes aquosas que abastecem as diferentes operações siderúrgicas podem ser tratadas e reutilizadas ou lançadas no corpo receptor, desde que atendam às leis e regulamentos vigentes, que via de regra, têm se tornado cada vez mais restritivos. Na maioria dos casos apresentados, o consumo de água e a geração de efluentes líquidos industriais podem ser reduzidos drasticamente a partir de estratégias de reutilização, seja por meio do reuso ou do reciclo destas correntes.

4.1.4.3 Passo 3 - Identifique as fontes de poluição

Os processos em último nível de decomposição hierárquica foram selecionados de forma a identificar a ocorrência de fontes de poluição com: (i) emissões para o ar; (ii) lançamentos em água; (iii) lançamentos em terra; e/ou (iv) geração de resíduos. Cada fonte foi identificada com um código único, para garantir a rastreabilidade das informações ao longo da análise.

Como resultado, a estrutura preliminar do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP) foi obtida, como apresentado na Figura 67, que mostra as fontes de poluição identificadas para o Processo 1.1.1 - Manuseio de materiais. As caixas com borda contínua representam os processos, enquanto as caixas com bordas pontilhadas representam as fontes de poluição identificadas para um determinado processo no último nível de decomposição hierárquica.

4.1.4.4 Passo 4 - Descreva a fonte de poluição

As fontes de poluição identificadas na Etapa 3 foram agrupadas considerando critérios de similaridade e foram descritas considerando literatura especializada, especialmente (ARAÚJO, 1997), (SHREVE e BRINK, 2012), (EUROPEAN UNION, 2013c); (USEPA, 1986b) e (USEPA, 2008).

Finalmente, a partir do resultado do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP), resultado da aplicação da metodologia a nível de setor, foi realizada a modelagem do processo usando uma solução de *Business Process Management (BPM)*, o software *Bizagi Modeler*.

Devido à magnitude e à complexidade do processo siderúrgico e ao grande número de fontes de poluição identificadas, e considerando que essa etapa já foi demonstrada de forma detalhada no Estudo de Caso 1, os resultados desta etapa foram realizados diretamente sobre a aplicação em meio digital, de forma que os resultados serão divulgados apenas em mídia eletrônica.

Foram consolidadas no modelo, da mesma maneira que mostrado no Estudo de Caso 1, todas as informações obtidas neste trabalho (etapas 1 a 4 da Metodologia DFP) permitindo, que de forma simples e interativa, as etapas seguintes sejam aplicadas, sendo possível ao final gerar relatórios de vistoria automaticamente.

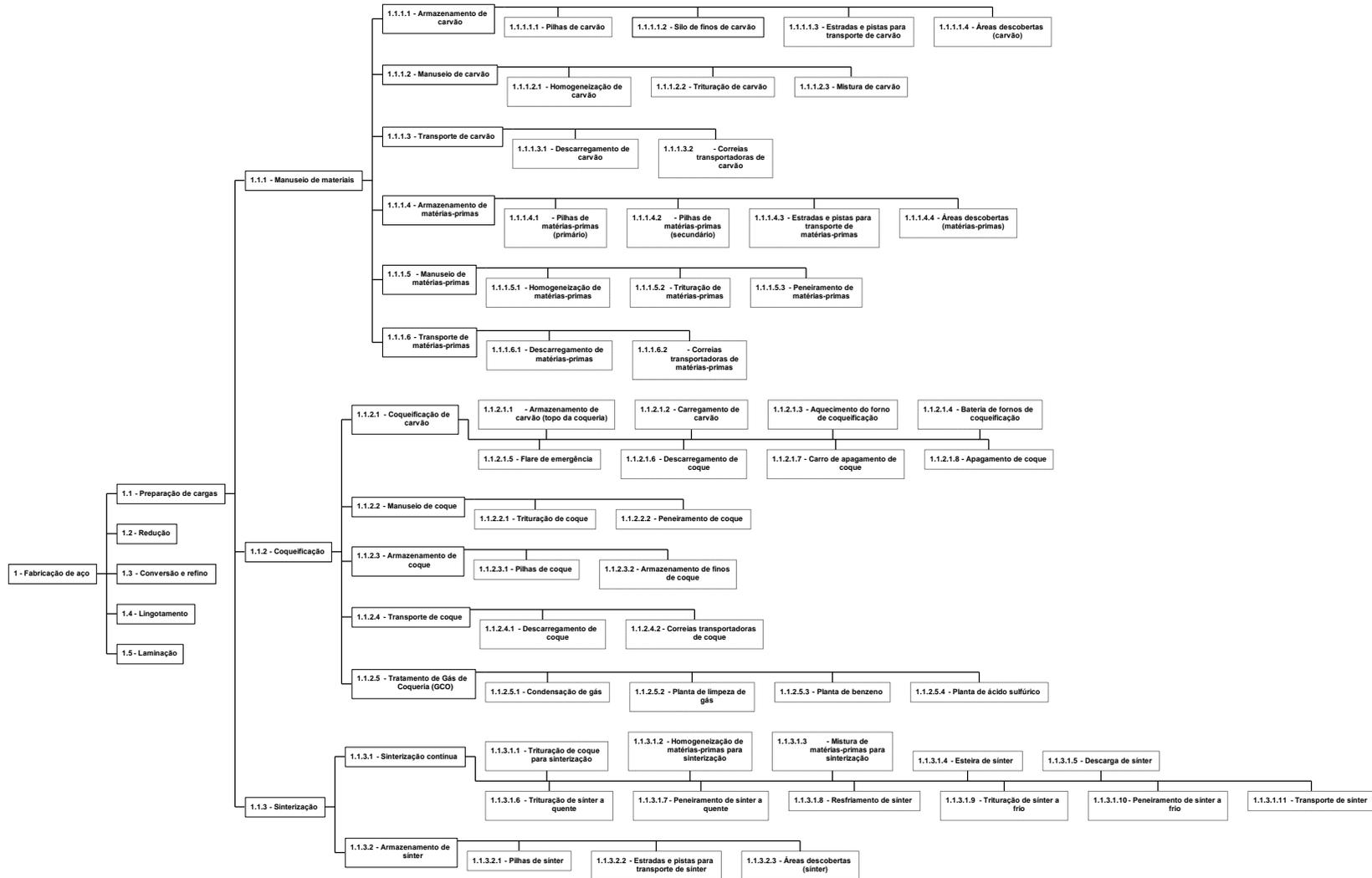


Figura 67. Estrutura preliminar do Diagrama de Fontes de Poluição para a fabricação de aço.
 Fonte: elaboração própria.

Para se prosseguir com a aplicação da metodologia em uma planta industrial específica, o que não está no escopo do presente trabalho, bastaria seguir aplicando os passos 5 a 7. Neste caso, além de dados específicos da planta, deve-se considerar a localização e a legislação ambiental relacionada.

A título meramente exemplificativo, serão listadas nos itens a seguir algumas leis, regulamentos e normas técnicas gerais e específicas (federais e do estado do Rio de Janeiro) relacionadas com a análise de requerimentos de licenciamento ambiental para fabricação de vidro:

- Leis, regulamentos e normas técnicas gerais federais
 - Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (art. 23, 24 e 225);
 - Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos;
 - Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente;
 - Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC);
 - Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências;
 - Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências;
 - Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, que fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora;
 - Decreto nº 8.437, de 22 de abril de 2015, que regulamenta o disposto no art. 7º, caput, inciso XIV, alínea “h”, e parágrafo único, da Lei Complementar

nº 140, de 8 de dezembro de 2011, para estabelecer as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental será de competência da União;

- Resolução nº 001/1986 do CONAMA, de 23.01.1986, publicada no D.O.U de 17.02.1986, que dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental;
- Resolução nº 009/1987 do CONAMA, de 03.12.1987, publicada no D.O.U de 05/07/1990, que dispõe sobre a questão de audiências Públicas;
- Resolução nº 001/90 do CONAMA, de 08.03.90, publicada no D.O.U. de 02.04.90, que dispõe sobre critérios e padrões de emissão de ruídos;
- Resolução nº 237/1997 do CONAMA, de 22.12.1997, publicada no D.O.U de 22.12.1997, que regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente;
- Resolução nº 313 do CONAMA, de 29.10.02, publicada no D.O.U. de 22.11.02, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais;
- Resolução nº 357 do CONAMA, de 17.03.05, publicada no D.O.U. de 18.03.05, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências;
- Resolução nº 382 do CONAMA, de 26.12.06, publicada no D.O.U. de 02.01.07, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas;
- Resolução nº 436 do CONAMA, de 22.12.2011, publicada no D.O.U. de 26/12/2011, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007;
- NBR-10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação;
- NBR-10.151 – Acústica – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento;
- NBR-11.174 – Armazenamento de Resíduos Classes II (não inertes) e Classe III (inertes);
- NBR-12.235 – Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos (Classe I).

- Leis, regulamentos e normas técnicas gerais estaduais (Rio de Janeiro)
 - Constituição do Estado do Rio de Janeiro de 1989 (arts. 261 a 282);
 - Lei nº 1.898 de 26.11.91, que dispõe sobre a realização de Auditorias Ambientais;
 - Lei nº 1.925 de 26.12.91, que altera dispositivo da Lei nº 1.804, de 26.03.91, que determina que as indústrias sediadas no Estado do Rio de Janeiro afixem, em locais visíveis, placas que indiquem a natureza dos produtos ali produzidos;
 - Lei nº 2.011 de 10.07.92, que dispõe sobre a obrigatoriedade da implantação de programa de redução de resíduos;
 - Lei nº 3.239 de 02.08.99, que institui a política estadual de recursos hídricos, cria o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta a Constituição Estadual, em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso VII, e dá outras providências;
 - Lei nº 3.467, de 14.09.2000, que dispõe sobre as sanções administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente no Estado do Rio de Janeiro;
 - DZ-703.R-4 – Roteiros para Apresentação de Projetos para Tratamento de Efluentes Líquidos, aprovada pela Deliberação CECA nº 19 de 16.02.78 e publicada no D.O.R.J. de 12.04.78;
 - IT-802.R-1 – Instrução Técnica para Apresentação de Projetos de Sistemas de Controle da Poluição do Ar, aprovada pela Deliberação CECA nº 311 de 28.09.78 e publicada no D.O.R.J. de 10.10.78;
 - NT-202.R-10 – Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos, aprovada pela Deliberação CECA nº 1.007 de 04.12.86 e publicada no D.O.R.J. de 12.12.86;
 - NT-213.R-4 – Critérios e Padrões para Controle da Toxicidade em Efluentes Industriais, aprovada pela Deliberação CECA nº 1.948 de 04.09.90 e publicada no D.O.R.J. de 18.10.90;
 - DZ-942.R-7 – Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos PROCON-ÁGUA, aprovada pela Deliberação CECA nº 1.995 de 10.10.90 e publicada no D.O.R.J. de 14.01.91;

- DZ-215.R-4 – Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Sanitária, aprovada pela Deliberação CECA nº 4.886 de 26.04.94, publicada no D.O.R.J. de 18.05.94;
- DZ-1310.R-7 – Sistema de Manifesto de Resíduos, aprovada pela Deliberação CECA nº 4.497 de 03.09.04 e publicada no D.O.R.J. de 21.09.04;
- DZ-205.R-6 – Diretriz de Controle de Carga Orgânica em Efluentes Líquidos de Origem Industrial, aprovada pela Deliberação CECA nº 4.887 de 25.09.07, publicada no D.O.R.J de 05.10.07 e republicada no D.O.R.J. de 08.11.07;
- DZ-056.R-3 – Diretriz para Realização de Auditoria Ambiental, aprovada pela Resolução CONEMA nº 021 de 07.05.10 e publicada no D.O.R.J. de 14.05.10;
- Resolução Inea nº 31, de 15 de abril de 2011 - Estabelece os códigos a serem adotados pelo Inea para o enquadramento de empreendimentos e atividades sujeitos ao licenciamento ambiental;
- Resolução Inea nº 32, de 15 de abril de 2011 - Estabelece os critérios para determinação do porte e potencial poluidor dos empreendimentos e atividades, para seu enquadramento nas classes do Slam;
- Resolução Inea nº 52, de 19 de março de 2012 - Estabelece os novos códigos para o enquadramento de empreendimentos e atividades poluidores ou utilizadores de recursos ambientais, bem como os capazes de causar degradação ambiental, sujeitos ao licenciamento ambiental;
- Resolução Inea nº 53, de 27 de março de 2012 - Estabelece os novos critérios para a determinação do porte e potencial poluidor dos empreendimentos e atividades poluidores ou utilizadores de recursos ambientais, bem como os capazes de causar degradação ambiental, sujeitos ao licenciamento ambiental;
- Resolução Conema nº 42, de 17 de agosto de 2012 - Dispõe sobre as atividades que causam ou possam causar impacto ambiental local, fixa normas gerais de cooperação federativa nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente e ao combate à

poluição em qualquer de suas formas, conforme previsto na Lei Complementar no 140/2011, e dá outras providências.

- Leis, regulamentos e normas técnicas específicas estaduais (Rio de Janeiro)
 - DZ-535.R-1 - Diretriz para Controle da Poluição do Ar em Fábricas de Cal, aprovada pela Deliberação CECA n. 749, de 31.10.1985 e publicada no D.O.R.J. de 20.11.1985;
 - NT-533.R-1 - Padrões de Emissão de Partículas para Fábricas de Cal, aprovada pela Deliberação CECA nº 748 de 31.10.1985 e publicada no D.O.R.J. de 20.11.1985;
 - DZ-548.R-1 - Diretriz para Controle da Poluição do Ar para Unidade de Coqueria, aprovada pela Deliberação CECA nº 931, de 07.08.1986 e publicada no D.O.R.J. de 29.09.1986;
 - NT-546.R-1 - Padrões de Emissão de Partículas para Unidade de Coqueria, aprovada pela Deliberação CECA nº 930 de 07.08.1986 e publicada no D.O.R.J. de 29.09.1986;
 - DZ 538.R-2 - Diretriz para Controle de Poluição do Ar em Unidade de Sinterização, aprovada pela Deliberação CECA n.807, de 20.02.1986 e publicada no D.O.R.J. de 26.03.1986;
 - NT-536.R-2 - Padrões de Emissão de Partículas para Unidade de Sinterização, aprovada pela Deliberação CECA n. 808, de 20.02.1986 e publicada no D.O.R.J. de 26.03.1986;
 - DZ 544.R-2 - Diretriz para Controle da Poluição do Ar em Unidade de Alto-Forno, aprovada pela Deliberação CECA nº 825 de 13.03.1986 e publicada no D.O.R.J. de 09.05.1986;
 - NT-542.R-2 - Padrões de Emissão de Partículas para Unidades de Alto-Forno, aprovada pela Deliberação CECA nº 824 de 13.03.1986 e publicada no D.O.R.J. de 18.04.1986;
 - DZ-541.R-2 – Diretriz para Controle da Poluição do Ar em Unidades de Aciaria LD e Elétrica, aprovada pela Deliberação CECA nº 806 de 20.02.1986 e publicada no D.O.R.J. de 26.03.1986;
 - NT.539.R-2 - Padrões de Emissão de Partículas para Unidades de Aciaria LD e Elétrica, aprovada pela Deliberação CECA nº 805 de 20.02.1986 e publicada no D.O.R.J. de 26.03.1986.

4.2 Discussão

O principal resultado deste trabalho foi a obtenção de uma metodologia para otimização da análise técnica no licenciamento ambiental, denominada Metodologia do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP), conforme apresentado no item 4.1.1. A metodologia DFP apresenta uma abordagem pragmática e relativamente simples para identificar as principais fontes de poluição de um processo industrial, consolidando as informações necessárias para o processo de decisão.

Para verificar a aplicabilidade da metodologia, foram realizados três estudos de caso, considerando os processos de produção de vidro plano, cimento Portland e aço. Como a delimitação do presente trabalho considerou a aplicação em nível de setor, sem prejuízo de futura aplicação em nível de unidade industrial específica, a aplicação da metodologia obtida no item 4.1.1 foi realizada considerando os passos 1 a 4. Para prosseguir com a aplicação em uma planta industrial específica, bastaria prosseguir com a aplicação da metodologia, considerando os dados do empreendimento que se deseja avaliar a conformidade ambiental.

Os resultados obtidos mostraram que a metodologia pode ser uma ferramenta útil para prevenir e minimizar os impactos ambientais resultantes de um processo produtivo e fornecer *feedback* importante aos órgãos ambientais para atualizar as políticas públicas e orientar análises técnicas em casos semelhantes, uma vez que um banco de dados pode ser construído e servir como base de conhecimento, reduzindo a subjetividade e a falta de foco ao longo do processo.

No entanto, a abordagem empregada tem algumas limitações. Por exemplo, nem todos os aspectos ambientais foram incluídos e a aplicação da metodologia depende da quantidade e qualidade das informações disponíveis. Mesmo assim, a metodologia permite que a análise técnica ambiental seja realizada de uma maneira eficiente e econômica, resultando em um tempo de resposta mais curto e um controle otimizado das fontes de poluição ambiental, com geração de relatório de inspeção ambiental em tempo real.

Pode-se então responder objetivamente à pergunta de pesquisa formulada para o problema objeto do presente estudo: “É possível desenvolver uma metodologia para otimizar a análise técnica no licenciamento ambiental?”. A obtenção de uma metodologia abrangente e ao mesmo tempo com estrutura flexível e ajustável como

resultado da pesquisa realizada ao longo deste trabalho demonstra com efeito que sim, é possível desenvolver uma metodologia para otimizar a análise técnica no licenciamento ambiental.

A análise da metodologia obtida revela também que os principais elementos constituintes de uma metodologia, conforme descrito por Kerzner (2009), foram contemplados, podendo ser citados como exemplos:

- Nível recomendado de detalhes;
- Uso de modelos;
- Técnicas padronizadas;
- Relatório em formato padronizado;
- Flexibilidade para aplicação a todos os projetos;
- Flexibilidade para rápidas melhorias; e
- Fácil para o usuário entender e seguir.

Acredita-se que a metodologia pode contribuir com os órgãos ambientais, trazendo alguns potenciais benefícios:

- aumentar a objetividade e o foco na análise técnica;
- aumentar a segurança jurídica e contribuir para redução da judicialização no processo de licenciamento ambiental;
- melhorar os serviços prestados, por meio da melhoria da celeridade e qualidade na tramitação dos processos administrativos;
- melhorar o controle e qualidade ambiental, com atuação mais rápida do órgão ambiental na emissão de documentos administrativos, como por exemplo com a geração automática de relatório de vistoria e, em caso de ausência de não conformidade, também do parecer técnico ambiental;
- fortalecimento institucional;
- atender plenamente a requisitos e princípios estabelecidos na legislação;
- reduzir os custos de análise técnica, diminuindo retrabalho e realização de vistorias adicionais desnecessárias, atendendo, assim, o princípio da economicidade;
- contribuir para redução do passivo de processos de licenciamento;
- contribuir para capacitação e treinamento do corpo técnico do órgão ambiental;

- contribuir para o avanço da descentralização do licenciamento, cooperando para a capacitação dos órgãos ambientais municipais, com vistas à efetivação da descentralização do licenciamento de atividades causadoras de impacto ambiental local;
- possibilitar uma maior dedicação dos órgãos ambientais ao acompanhamento pós-licença e à fiscalização de processos de licenciamento, especialmente de empresas de alto grau de impacto ambiental;
- permitir a rápida fundamentação técnica no processo de tomada de decisão;
- orientar o setor produtivo, permitindo o planejamento adequado das atividades e empreendimentos e a melhoria da qualidade técnica dos documentos submetidos ao órgão ambiental.

A aplicação da Metodologia DFP também fortalece a adoção, com segurança e qualidade, de mecanismos baseados em regras setoriais em substituição à convencional análise caso a caso e em auto declaração para licenciamento de empreendimentos e atividades de baixo e médio impacto ambiental, liberando o corpo técnico para atuar com mais foco e agilidade nas atividades que causam alto impacto sobre o ambiente e que, de fato, merecem mais atenção.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal desenvolver uma metodologia para otimização da análise técnica no licenciamento ambiental, muitas vezes criticado por razões como morosidade e subjetividade.

Considerando a complexidade e abrangência do tema, a pesquisa foi delimitada à administração pública brasileira, frequentemente desafiada a entregar mais resultados com menos recursos. Uma sociedade de pagadores de impostos cada vez mais cientes e conscientes tende a adotar uma nova postura de cobrança de resultados do setor público, o que evidencia a importância do desenvolvimento de ferramentas mais modernas e adequadas para tornar o licenciamento ambiental mais ágil e efetivo, e a redução da subjetividade na análise técnica apresenta-se como imprescindível para se alcançar esse objetivo.

Neste sentido, o desenvolvimento da Metodologia do Diagrama de Fontes de Poluição (Metodologia DFP) mostrou potencial para aproximar a gestão pública das melhores práticas internacionalmente adotadas, ressalvadas as devidas adaptações à realidade brasileira, de forma a contribuir para melhorar os serviços prestados à sociedade e promover o desenvolvimento sustentável.

Empregou-se uma abordagem qualitativa, com coleta de dados secundários, tendo sido adotada a técnica de pesquisa bibliográfica utilizando-se livros, artigos, revistas científicas, teses e dissertações sobre o tema de pesquisa.

A revisão de literatura abordou: a relação entre o homem e o ambiente; a evolução e os desafios enfrentados no licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades; a conceituação de padrão, método e metodologia; aspectos, impactos e controles ambientais.

A pesquisa bibliográfica realizada possibilitou a identificação dos principais elementos constituintes de uma metodologia otimizada de análise técnica e as customizações necessárias para abordar as características e particularidades do setor público brasileiro. O desafio que se apresentou foi, efetivamente, relacionado a como construir uma metodologia a partir de padrões e melhores tecnologias adotadas internacionalmente. O desenvolvimento do trabalho mostrou que a solução passaria pelo desenvolvimento de uma metodologia aplicada em nível de setor e não, pelo menos diretamente e em um primeiro momento, em nível de uma organização ou projeto específico, uma vez que especificidades de uma determinada planta industrial

provavelmente não seriam aplicadas a outra, ainda que considerando um mesmo setor produtivo.

O trabalho se desenvolveu a partir da análise da relação entre processos produtivos, controles ambientais e legislação aplicável, resultando na consolidação da Metodologia do Diagrama de Fontes de Poluição (DFP), apresentada no Capítulo 4, que resultou na publicação de artigo científico apresentado no Apêndice A deste trabalho.

Em seguida, a metodologia foi aplicada aos processos de fabricação de vidro plano, cimento Portland e aço, considerando também leis, regulamentos e normas técnicas relacionadas. Foi realizada modelagem de fluxos de trabalho, resultando em um modelo que permite a orientação do agente ambiental em campo com a emissão automática de relatórios de vistoria e, em caso de não constatação de não conformidades, de parecer técnico para subsidiar a decisão referente à emissão da licença ambiental. Tais resultados foram apresentados no Capítulo 4, resultando em mais dois artigos científicos (Apêndices B e C).

Destarte, foi possível responder afirmativamente à pergunta de pesquisa: Sim, é possível desenvolver uma metodologia para otimizar a análise técnica no licenciamento ambiental. Adicionalmente, foi possível identificar que a metodologia produto deste trabalho apresenta plena consonância com as melhores práticas reconhecidas internacionalmente e com as características que deve possuir uma metodologia, conforme apontado pelo referencial teórico consultado.

Observa-se que a metodologia desenvolvida considera alguns processos em nível de setor, isto é, de uma forma abrangente, não tratando de detalhes de plantas industriais específicas. Em assim sendo, não se deve interpretar o sequenciamento proposto como algo rígido e estanque.

Ao contrário, trata-se de um procedimento em nível de setor, isto é, uma orientação, com um grau de detalhamento maior do que um simples padrão de boas práticas, uma vez que compreende fluxos de trabalho com etapas bem definidas e modelos com um conteúdo mínimo estruturado, mas que ainda não constitui propriamente uma metodologia que possa ser diretamente aplicada em uma planta industrial específica, cabendo aos gestores responsáveis realizar as customizações necessárias, podendo, inclusive acrescentar, alterar, atualizar e excluir elementos dos fluxos de trabalho e modelos.

Todavia, metodologias para plantas específicas ou mesmo para outros setores produtivos, que se configuram como sugestões de potenciais estudos futuros, com relativa facilidade podem ser derivadas a partir da metodologia ora apresentada, que demonstra a flexibilidade necessária para tal, cabendo à organização e aos gestores responsáveis realizarem os ajustes necessários, observando sobretudo a conveniência e a oportunidade.

Os resultados sugerem que a metodologia pode ser uma ferramenta útil para os órgãos ambientais, uma vez que permite uma análise ambiental mais rápida e completa, subsidiando melhor o processo de tomada de decisão.

Acredita-se que a sistematização da identificação e análise de fontes de poluição, através de uma forma coordenada e integrada de avaliação da conformidade ambiental, utilizando uma ferramenta que permita a construção e atualização de fluxos de trabalho e uma base de conhecimento comum à equipe técnica contribui para maior assertividade nas decisões tomadas pelos órgãos ambientais e governos.

Assim, a metodologia pode contribuir não apenas para a simplificação do licenciamento ambiental ou para a otimização do processo de avaliação de impactos ambientais, mas também para o monitoramento desses impactos, permitindo a comparação entre o planejado e a realidade após a concessão de licença ambiental e a consideração de aspectos de sinergia e cumulatividade na análise de novas unidades indústrias, com melhores resultados em controle e qualidade ambiental.

Além disso, deve-se considerar que devido à dinâmica e à complexidade do tema, esta metodologia, atualmente em sua Versão 1.0.0.0.0, deverá ser objeto de revisões e atualizações.

Como desdobramento do trabalho, pretende-se prosseguir com a aplicação prática da metodologia a outros tipos de atividades econômicas de forma a aumentar a sua abrangência e identificar oportunidades de melhoria para o aprimoramento da solução desenvolvida.

Podem ser citados como exemplos de desenvolvimentos futuros pretendidos a elaboração de balanços de massa específicos para poluentes relevantes e o detalhamento de balanços de energia visando à eficiência energética, de forma a contribuir com o aperfeiçoamento das medidas de prevenção e controle da poluição ambiental e com a melhoria da qualidade ambiental, essenciais para o desenvolvimento sustentável.

RECOMENDAÇÃO

Registra-se que, embora a presente metodologia tenha sido baseada em ampla pesquisa de referencial teórico e elaborada considerando as melhores práticas internacionalmente reconhecidas, a mesma não foi testada, avaliada ou verificada além dos resultados apresentados neste trabalho.

Desta forma, o autor não se responsabiliza e se isenta de qualquer responsabilidade por qualquer dano pessoal, de propriedade ou por outros danos de qualquer natureza, especial, indireta, substancial ou compensatória, resultante direta ou indiretamente da publicação, uso de aplicação, ou plena dependência neste documento, não dando garantias, expressas ou implícitas, relativas à exatidão ou integridade de quaisquer informações publicadas neste documento, não garantindo também que as informações contidas neste documento atenderão a quaisquer necessidades ou objetivos específicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **ABNT NBR ISO 14001:2015 Sistemas de gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 41. 2015.

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. Coke Production For Blast Furnace Ironmaking. **AISI**, 2012. Disponível em: <<http://www.steel.org/>>. Acesso em: 17 jul. 2012.

ANDRADE, F. C. M. D. **Direito Administrativo**. 6ª. ed. Niterói/RJ: Impetus, v. 8, 2012.

ANDRADE, R. Riscos civilizatórios e gestão socio-ambiental. In: SEABRA, G. **Terra: mudanças ambientais globais e soluções locais**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2008.

ARAÚJO, L. A. **Manual de Siderurgia**. 1. ed. São Paulo: Arte e Ciência, v. 1, 1997.

ARCELORMITTAL. Meio ambiente - Plano Verão 2016/2017. **Portal ArcelorMittal Tubarão**, 2017. Disponível em: <<http://tubarao.arcelormittal.com/meioambiente/>>. Acesso em: 03 jul. 2017.

ARTS, J.; CALDWELL, P.; MORRISON-SAUNDERS, A. Environmental impact assessment follow-up: good practice and future directions - findings from a workshop at the IAIA 2000 conference. **Impact Assessment and Project Appraisal**, v. 19, p. 175–185, 2001.

ASAHI GLASS. Float Glass general process, 2013. Disponível em: <http://www.agc-group.com/en/about/flatglass_03.html>. Acesso em: 2 set. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Tipos de Cimento Portland. **Portal da Associação Brasileira de Cimento Portland**, 2017a. Disponível em:

<<http://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/quais-sao-os-tipos-de-cimento-portland/>>. Acesso em: 28 jul. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Portal Coprocessamento. **Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)**, 2017b. Disponível em: <<http://coprocessamento.org.br/quem-coprocessa-no-brasil>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENTIDADES ESTADUAIS DE MEIO AMBIENTE. **Novas propostas para o licenciamento ambiental no Brasil**. Brasília: ABEMA, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENTIDADES ESTADUAIS DE MEIO AMBIENTE. Encontro Nacional sobre Licenciamento e Governança Ambiental, 2013b. Disponível em: <<http://www.abema.org.br/site/pt-br/novidades/noticias/41442;55452;071901;650;1464.php>>. Acesso em: 11 nov. 2014.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

BIM, E. F. **Licenciamento Ambiental**. 3. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2016.

BIZAGI. Bizagi BPMN Modeler. **Bizagi**, 2016. Disponível em: <www.bizagi.com/pt/produtos/bpm-suite/modeler>. Acesso em: 18 set. 2016.

BOLOTA, J. R. Refino Secundário de Aço. In: MOURÃO, M. B. **Introdução à Siderurgia**. 1. ed. São Paulo: ABM, 2007. Cap. 7, p. 428.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 13 mar. 2017.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 15 mar. 2017.

BRASIL. Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000. Altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L10165.htm#art3>. Acesso em: 13 mar. 2017.

BRASIL. **Manual de Gestão de Projetos**. Tribunal de Contas da União. Brasília, p. 110 p. 2006.

BRASIL. Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, 2011. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LCP/Lcp140.htm#art20>. Acesso em: 4 abr. 2017.

BRASIL. **Metodologia de Gerenciamento de Projetos do SISP**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. Metodologia de Gerenciamento de Projetos do SISP, p. 130 p. 2011.

BRASIL. Decreto nº 8.437, de 22 de abril de 2015. , 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Decreto/D8437.htm>. Acesso em: 02 maio 2017.

BRASIL. Portal da Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 3729/2004. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, regulamenta o inciso IV do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, e dá outras providências**, 2017a. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=257161>>. Acesso em: 2 set. 2017.

BRASIL. Portal da Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 3729/2004. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, regulamenta o inciso IV do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, e dá outras providências**, 2017a. Disponível em:

<<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=257161>>. Acesso em: 2 set. 2017.

BRASIL. Proposta de Emenda à Constituição nº 65, de 2012. **Portal do Senado Federal**, 2017b. Disponível em:

<<http://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/109736>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

CARVALHO, A. et al. From a literature review to a framework for environmental process impact assessment index. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 36-62, 2014.

CHEN, I. J.; POPOVICH, K. Understanding customer relationship management (CRM): People, process and technology. **Business Process Management Journal**, v. 9, p. 672-688, 2003.

CHIN, C. M. M.; SPOWAGE, A. C. Defining & Classifying Project Management Methodologies. **PM World Today**, v. 12, n. 5, Maio 2010. p. 1-9.

CHIN, M. M.; SPOWAGE, A. C.; YAP, E. H. Project Management Methodologies: A Comparative Analysis. **Journal for the Advancement of Performance Information and Value**, v. 4, n. 1, Kajang, 2012. p. 106-118.

ČIARNIENĖ , ; VIENAŽINDIENĖ, M. New Public Management: Theoretical and Practical Aspects. **Engineering Economics**, Kaunas/Lituânia, v. 55 n. 5, p. 44-50, Dez 2007.

CONAMA. Resolução Conama Nº 001, de 23 de janeiro de 1986, 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

CONAMA. Resolução Conama nº 009, de 03 de dezembro de 1987., 1987. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res87/res0987.html>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

CONAMA. Resolução Conama nº 237, de 19 de dezembro 1997, 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

CONAMA. Resolução Conama nº 264, de 26 de agosto de 1999, 1999. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=262>. Acesso em: 26 maio 2017.

CONAMA. Resolução Conama nº 264, de 26 de agosto de 1999, 1999. Acesso em: 26 maio 2017.

CONEMA. Resolução Conema nº 42, de 17 de agosto de 2012. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 28 ago. 2012. 15-16.

CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA. **Justiça em Números 2017: ano-base 2016**. Conselho Nacional de Justiça (CNJ). Brasília, p. 188. 2017.

DANTAS, M. B. **Direito Ambiental de Conflitos**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2015.

DIMAGGIO, P. J.; POWELL, W. W. The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in. **American Sociological Review**, New Haven, v. 48, p. 147-160, Abr 1983.

DRECHSLER, W. The Rise and Demise of the New Public Management. **Post-autistic Economics Review**, Tallinn, 14 Set 2005. 17-28.

ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Decreto-Lei nº 134, de 16 de junho de 1975. Dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente no Estado do Rio de Janeiro, e dá outras providências, 1975. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/decest.nsf/83b1e%2011a446ce7f7032569ba0082511c/20e029cb4455f7dc03256b6d00638572?OpenDocument>>. Acesso em: 25 maio 2017.

ESTADO DO RIO DE JANEIRO. DECRETO No 1.633, de 21 de dezembro de 1977. Regulamenta em parte o Decreto no 134 de 16/06/75, e institui o Sistema de Licenciamento de Atividade Poluidoras, 1977. Disponível em: <<http://www.atosdoexecutivo.rj.gov.br/publico/VisaoPublica.aspx?CodAto=52808>>. Acesso em: 14 maio 2017.

ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Lei nº 5.101, de 04 de outubro de 2007, 2007. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/e9589b9aabd9cac8032564fe0065abb4/674aaff783d4df6b8325736e005c4dab?OpenDocument>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Decreto nº 41.628, de 12 de janeiro de 2009, 2009a. Disponível em: <<http://www.atosdoexecutivo.rj.gov.br/publico/VisaoPublica.aspx?CodAto=69565>>. Acesso em: 04 jun. 2017.

ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Decreto nº 42.159, de 02 de dezembro de 2009, 2009b. Disponível em: <<http://www.atosdoexecutivo.rj.gov.br/publico/VisaoPublica.aspx?CodAto=80877>>. Acesso em: 03 jun. 2017.

ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Decreto nº 44.820, de 02 de junho de 2014, 2014. Disponível em: <<http://www.atosdoexecutivo.rj.gov.br/publico/VisaoPublica.aspx?CodAto=87948>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Decreto nº 45.482, de 04 de dezembro de 2015, 2015. Disponível em: <<http://www.atosdoexecutivo.rj.gov.br/publico/VisaoPublica.aspx?CodAto=89080>>. Acesso em: 12 jul. 2017.

ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Decreto nº 46.037, de 05 de julho de 2017, 2017.

Disponível em:

<<http://200.20.53.3:8081/cs/groups/public/documents/document/zwew/mtm4/~edisp/inea0138003.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2017.

EUROPEAN UNION. **Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and Control**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013a.

EUROPEAN UNION. **Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and control**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013b.

EUROPEAN UNION. **Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and Control**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013c.

FACO, R. J. Lingotamento Contínuo do Aço. In: MOURÃO, M. B. **Introdução à Siderurgia**. 1. ed. São Paulo: ABM, 2007. Cap. 8, p. 428.

FERREIRA, L. C. **Co-incineração e coprocessamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer**: aspectos e impactos ambientais, riscos e soluções. Uberlândia - MG: Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

FERREIRA, T. S.; PHILIPPI, D. A.; NUNES, M. F. **Processo produtivo de cimento: paradas não programadas no coprocessamento**. VII Convibra Administração. Congresso Virtual: [s.n.]. 2010.

GLOBAL ENTREPRENEURSHIP MONITOR. **Empreendedorismo no Brasil**: 2016. Curitiba: IBQP, 2017.

GONÇALVES, M. Laminação de Produtos Planos e Não-Planos. In: MOURÃO, M. B. **Introdução à Siderurgia**. 1. ed. São Paulo: ABM, 2007. Cap. 10, p. 428.

GORNI, A. A. **Laminação de Produtos Planos e Não-Planos de Aço**. São Paulo: ABM, 2008.

GTZ-HOLCIM. **Guidelines on co-processing Waste Materials in Cement Production**. The GTZ-Holcim Public Private Partnership. [S.l.]. 2006.

HAYER & BOECKER. Cimento. **Haver & Boecker Latinoamericana Máquinas LTDA**, 2017. Disponível em:

<<http://www.haverbrasil.com.br/segmentos#cimento#1#1>>. Acesso em: 25 maio 2017.

HOOD, C. A public management for all seasons? **Public Administration - Royal Institute of Public Administration**, Londres, v. 69, p. 3-19, Primavera 1991.

HOOD, C. Public Management, New. **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**, 2001. 1-4.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. D. S.; FRANCO, F. M. D. M. **Pequeno dicionário Houaiss da língua portuguesa**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2015.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Processo Siderurgico, 2015. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html>>. Acesso em: 16 jul. 2016.

IRELAND. **BAT Guidance Note on Best Available Techniques for the Production of Cement and for the Production of Lime in a Kiln**. [S.l.]: [s.n.], 2008.

IRON AND STEEL INDUSTRY. Iron and Steel Production, 2012. Acesso em: 09 jul. 2012.

ISO. ISO 21500:2012 - Guidance on project management. **International Organization for Standardization**, 2012. Disponível em:

<http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=50003>. Acesso em: 12 Agosto 2016.

JACKSON, M. D. et al. Phillipsite and Al-tobermorite mineral cements produced through low-temperature water-rock reactions in Roman marine concrete. **American Mineralogist**, v. 102, p. 1435–1450, 2017.

JOHNSON, R. **Water Use in Industries of the Future: Steel Industry**. U.S. Department of Energy. Washington, D.C. 2003.

JONES, A. C.; HITCHMAN, M. L. **Chemical Vapour Deposition: Precursors, Processes and Applications**. [S.l.]: Royal Society of Chemistry, 2009.

KARSTENSEN, K. H. Formation, release and control of dioxins in cement kilns.. **Chemosphere**, v. 70, p. 543–560, 2008.

KARSTENSEN, K. H. **Formação e emissão de POPs pela indústria de cimento**. SINTEF– Fundação para Pesquisa Científica e Industrial da Noruega. BUSATO, L. C. e BUSATO, T. M. M. (tradução). São Paulo. 2010.

KEFAN MACHINERY. Active Lime Process Flow Chart, 2012. Disponível em: <http://www.kf-rotarykiln.com/html/Product/Active_Lime_Equipment/active-lime-process-flow-chart.Html>. Acesso em: 09 jul. 2012.

KERZNER, H. **Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling**. 10th. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2009.

LARBI, G. A. **The New Public Management Approach and Crisis States**. United Nations Research Institute For Social Development. Genebra/Suíça, p. 60. 1999.

MACFARLANE, A.; MARTIN, G. A World of Glass. **Science**, v. 305, p. 1407-1408, 2004.

MACHADO, M. **Siderurgia para Não-Siderurgistas**. Espírito Santo: ABM, 2003.

MALYNOWSKYJ, A. Fabricação de Aço Líquido em Conversor a Oxigênio. In:

MOURÃO, M. B. **Introdução à Siderurgia**. 1.. ed. São Paulo: ABM, 2007. Cap. 5, p. 428.

MANTEGAZZA, E. **Aspectos ambientais do coprocessamento de resíduos em fornos de produção de clínquer no estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado)**. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo (USP), 2004.

MARSHALL, R.; ARTS, J.; MORRISON-SAUNDERS, A. International principles for best practice EIA follow-up. **Impact Assessment and Project Appraisal**, v. 23, p. 175–181, 2005.

MARTINS, J. E. P.; ZOGHBI, J. D. F. G. **Gestão do conhecimento e da informação em ambientes com elevado turnover na alta chefia: um estudo de caso em projetos de governo**. Anais do II CONGRESSO CONSAD DE GESTÃO PÚBLICA. Brasília/DF: [s.n.]. 2009. p. 21.

MARÍNGOLO, V. **Clinquer co-processado: produto de tecnologia integrada para a sustentabilidade e competitividade da indústria do cimento**. Tese (Doutorado). São Paulo: Universidade São Paulo, 2001.

MOURÃO, J. M. **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico. NT Minério de Ferro e Pelotas Situação Atual e Tendências 2025**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, p. 50. 2008.

NATIONAL GLASS ASSOCIATION E GLASS MAGAZINE. Map of World Glass, 2017. Disponível em: <www.worldofglassmap.com>. Acesso em: 23 ago. 2017.

NETO, B. C. S. **Proposição de um sistema de gestão na atividade de coprocessamento de resíduos industriais em fornos de cimento. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Sistemas de Gestão**. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2008.

O'FLYNN, J. From New Public Management to Public Value: Paradigmatic Change and Managerial Implications. **The Australian Journal of Public Administration**, Australia, v. 66 n. 3, p. 353–366, Set 2007.

OLIVEIRA, R. L. D. **Licenciamento ambiental: avaliação ambiental estratégica e (In)eficiência da proteção do meio ambiente**. Curitiba: Juruá, 2014.

PALUDO, A. **Administração Pública**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

PAULA, L. G. **Análise Termoeconômica do Processo de Produção de Cimento Portland com Coprocessamento de Misturas de Resíduos, 158p. Dissertação (Mestrado em Conversão de Energia)**. Itajubá: Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, 2009.

PILKINGTON INC. The Float Process. **Pilkington Inc.**, 2016. Disponível em: <<http://www.pilkington.com/pilkington-information/about+pilkington/education/float+process/default.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

PILKINGTON, L. A. B. The Float Glass Process. **Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences**, London, v. 314, p. 1-25, dez. 1969.

PISA, B. J.; OLIVEIRA, A. G. D. **Gestão de projetos na Administração Pública: um instrumento para o planejamento e desenvolvimento**. 1º Seminário Nacional de Planejamento e Desenvolvimento (SNPD). Curitiba/PR: [s.n.]. 2013. p. 15.

PMI. **Government Extension to the PMBOK Guide**. 3. ed. Newtown Square: Project Management Institute, Inc., 2006.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. How Cement is Made. **Portland Cement Association**, 2017. Disponível em: <<http://www.cement.org/cement-concrete-applications/how-cement-is-made>>. Acesso em: 4 maio 2017.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)**. 5th. ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute (PMI), Inc., 2013.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Current PMI Standards Projects. **Project Management Institute**, 2016. Disponível em: <<http://www.pmi.org/pmbok-guide-standards>>. Acesso em: 12 Agosto 2016.

PULKER, H.; PULKER, H. K. **Coatings on glass**. 2th. ed. [S.l.]: Elsevier, 1999.

RIZZO, E. M. S. **Processo de fabricação de ferro gusa em alto forno**. 1. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM), 2009.

ROCHA, S. D. F.; LINS, V. F. C.; ESPIRITO SANTO, B. C. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 16, jan/mar 2011.

SANTOS, I. E. D. **Manual de métodos e técnicas de pesquisa científica**. 5. ed. Niterói: Impetus, 2005.

SANTOS, M. D. S. E. S. **Gestão da mudança organizacional: uma revisão teórica**. Rio de Janeiro/RJ: Dissertação de mestrado - Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas da Fundação Getulio Vargas, 2014.

SÃO PAULO. **Metodologia de Gerenciamento de Projetos**. Poder Judiciário - Tribunal de Justiça do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 53 p. 2012.

SHREVE, R. N.; BRINK, J. A. **Indústrias de Processos Químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

SNYDER, C. S. **Guia de templates para gerenciamento de projetos**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

STEEL UNIVERSITY. Steel, 2012. Disponível em: <<http://www.steeluniversity.org/>>.

Acesso em: 10 jun. 2012.

STEWART ENGINEERS. Coating Technology Processes, 2014. Disponível em: <<http://stewartengineers.com/English/wp-content/uploads/2013/11/SE-Coating-Technology-Brochure-1.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2017.

STEWART ENGINEERS. Float Glass Manufacturing Process. **Stewart Engineers, Inc**, 2017. Disponível em: <<http://stewartengineers.com/products/stewartfloat/technology/>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

SUVIO, P. Water management for sustainable steel industry. **Ironmaking & Steelmaking**, v. 39, p. 263-269, may 2012.

THE EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION. **Best available techniques for the cement industry**. Brussels: The European Cement Association (CEMBUREAU), 1999.

THE EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION. The story of cement manufacture. **The European Cement Association (CEMBUREAU)**, 2017. Disponível em: <<https://cembureau.eu/media/1544/cementmanufacturing.pdf> >. Acesso em: 1 set. 2017.

THE LINDE GROUP. Glass Melting. **The Linde Group**, 2017. Disponível em: <http://www.linde-gas.com/en/industries/glass/glass_melting/glass_melting.html>. Acesso em: 13 jul. 2017.

THEODORO, S. H. **Mediação de Conflitos Socioambientais**. Rio de Janeiro: Garamond, 2005.

TOCCHETTO, M. R. L. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais**. Departamento de Química - Universidade Federal de Santa Maria - RS. 2005.

TOOLEY, F. V. **The Handbook of Glass Manufacture: A Book of Reference for the**

Plant Executive, Technologist, and Engineer. New York NY: Ashlee Publishing Company, v. 2. , 1984.

TRENNEPOHL, C. **Licenciamento Ambiental**. 3. ed. Niterói: Impetus, 2010.

UNITED NATIONS. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. United Nations. Oslo, p. 300. 1987.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects: The 2017 Revision**. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. [S.I.]. 2017.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Environmental Impact Assessment and Strategic Environmental Assessment: Towards an Integrated Approach**. Geneva, Switzerland: UNEP, 2004.

UNITED STATES STEEL. **The making, shaping and treating of steel**. 10th. ed. Pittsburgh: USS, 1985.

USEPA. Air Emissions Factors and Quantification - 12.5 Iron And Steel Production. **U.S. Environmental Protection Agency**, 1986. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s05.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2016.

USEPA. Air Emissions Factors and Quantification - Chapter 11: Mineral Products Industry: 11.15 Glass Manufacturing. **U.S. Environmental Protection Agency**, 1986. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s15.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2015.

USEPA. Air Emissions Factors and Quantification - Chapter 11: Mineral Products Industry: 11.6 Portland Cement Manufacturing. **U.S. Environmental Protection Agency**, 1995. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s06.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2017.

USEPA. Air Emissions Factors and Quantification - 12.2 Coke Production. **U.S. Environmental Protection Agency**, 2008. Disponível em:

<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s02_may08.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2016.

USEPA. Available and emerging technologies for reducing greenhouse gas emissions from the portland cement industry , 2010. Disponível em:

<www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/cement.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2017.

VEIGA, J. E. D. **A desgovernança mundial da sustentabilidade**. São Paulo: Editora 34, 2013.

VIZAGSTEEL. Blast Furnace, 2012. Disponível em:

<<http://www.vizagsteel.com/code/Infrastr/bf.asp>>. Acesso em: 23 jul. 2012.

WORLD BANK. **Getting to green - A Sourcebook of Pollution Management Policy Tools for Growth and Competitiveness**. Washington, DC: World Bank, 2012.

WORLD BANK. **Doing Business 2017: Equal Opportunity for All**. Washington, DC: World Bank, 2017.

WORLD CEMENT ASSOCIATION. World Cement Association Sustainability Effort.

World Cement Association (WCA), 2017. Disponível em:

<www.worldcementassociation.org/sustainability/wcasi-wca-sustainability-initiative>. Acesso em: 26 ago. 2017.

YOKOJI, A. Produtos Siderúrgicos, : . In: MOURÃO, M. B. **Introdução à Siderurgia**. 1. ed. São Paulo: ABM, 2007. Cap. 12, p. 428.

APÊNDICE A – Artigo: Technical analysis methodology for the optimization of environmental licensing.

Technical analysis methodology for the optimization of environmental licensing

André Luiz Felisberto França, M.Sc.

Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, Brazil

State Environmental Institute, State Environmental Secretariat of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, Brazil

andrefranca.inea@gmail.com

andrefranca.projetos@gmail.com andrefranca.inea@gmail.com

Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, D.Sc.

Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, Brazil

pessoa@eq.ufrj.br

Fabiana Valéria da Fonseca Araujo, D.Sc.

Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, Brazil

fabiana@eq.ufrj.br

Abstract

Improving the speed and quality of services provided by environmental agencies has been an increasingly frequent requirement of society. At the same time, most environmental agencies have insufficient resources to meet the high demand for environmental licensing requirements and diverse external demands, which stimulates the search for new environmental public management tools. Among the main challenges for environmental licensing, subjectivity and lack of focus are the main obstacles to an efficient technical analysis and, consequently, an environmental licensing that contributes significantly to sustainable development. In this sense, this paper presents a pragmatic methodology to guide the execution of the technical analysis in environmental agencies, maximizing the quality and minimizing the environmental impacts and time involved, in order to contribute to the improvement of the environmental control and quality. The methodology consists of a stepwise and tiered approach whereby environmental impacts are identified and analyzed systematically and in a coordinated and integrated manner, resulting in a diagram of pollution sources, allowing agile and lean technical analysis and a more effective decision-support tool.

Keywords: pollution prevention; environmental policy; sustainable development; pollution control; environmental management; government

1. Introduction

The relationship between man and the environment has undergone profound transformations throughout the development of civilizations. Essentially, man seeks in nature the resources that assure him survival, convenience and comfort. However, processes of transforming natural resources into products useful for life in society, because they are not perfect, cause the generation of waste, which if improperly released into the air, water and soil can result in significant environmental impacts.

Most of the time, the environment was able to absorb the impacts of anthropogenic intervention, most of them local coverage. However, in the last 250 years, from the industrial revolution, the capacity of waste generation was potentiated with new production methods and the loading and concentration of process residues were no longer so easily assimilated by the environment.

The increasing requirement of citizens for higher quality public services increasingly reinforces the importance of adopting good management practices in environmental licensing and environmental impact assessment processes (Carvalho et al, 2014; The World Bank, 2012; UNEP, 2004; Arts, Caldwell and Morrison-Saunders, 2001; Marshall et al, 2005).

At the same time that the demands of an environmentally more conscious society require more speed and quality in the services provided, the public administration is conditioned to achieve more results with fewer resources, in increasingly varied and complex environmental themes, which invariably go through the search the compatibility between socioeconomic development and environmental conservation.

The imprecision and subjectivity in the technical analysis stand out among the main challenges of environmental licensing (Abema, 2013). The decomposition of the technical analysis reveals that there are three essential components for carrying out a complete analysis, namely: production process, environmental controls and environmental legislation. Although such information is available for research, it is sparse and non-integrated, which hinders and limits the work of many environmental agencies. In this sense, the use of more adequate tools represents important differential and opportunity for environmental agencies.

The present work presents a methodology of technical analysis for optimization of the environmental licensing, providing a coordinated and logical route for the integration of the relevant technical information for the accomplishment of a fast and standardized analysis, that represents more security and quality, thus contributing to the development of corporate processes and technological tools to obtain more effective results in the field of public environmental management and also to improve environmental quality and control.

2. Material and methods

The present work has a qualitative nature, with secondary data collection, having been applied a literature review technique using books (Cheremisnoff, 2002; Rhyner et al, 1995; Braile and Cavalcanti, 1993; Reinhold, 1992), scientific journals (Bruin et al, 2015; Carvalho et al, 2014; Arts, Caldwell and Morrison-Saunders, 2001), theses and dissertations (Santos, 2014) that deal with the themes of public environmental management, environmental impact assessment and pollution prevention and control, as well guidelines adopted by environmental agencies and

international organizations (USEPA, 2017; New Zeland, 2017; Canada, 2015; Australia, 2015; European Union, 2011; The World Bank, 2012; UNEP, 2004).

Qualitative research can contribute to studies in administration, especially when the objective is to understand complex organizations, their processes, structures, context, interrelationships. In this way, studies with a qualitative approach can describe the complexity of a given problem, analyze the interaction of certain variables, understand and classify dynamic processes experienced by social groups, contribute to change process of a given group and understanding the particularities of individuals' behavior (Santos (2014); Goulart and Carvalho (2005); Richardson, (1999)).

The methodology was designed to contribute with environmental agencies in the identification of pollution sources and in the evaluation of environmental compliance of industrial process, in a systematic, coordinated and integrated way. The methodology focuses on emissions to air, releases to water and land as well waste management related to operating phase, in order to stimulate prevention and adequate control of pollution sources. The processes were created using *WBS Schedule Pro* and *Bizagi Modeler* software, version 3.1.0.011, a business process management solution based on BPMN (Business Process Modeling Notation) (Bizagi, 2016).

3. Results and discussion

The results section describes the steps and outcomes towards methodology for optimization of technical analysis in environmental licensing that was designed.

3.1 Step 1 – Represent the macroprocess

Knowledge of the industrial process is fundamental for understanding the relevant environmental aspects and for carrying out a complete and assertive environmental analysis.

The representation of the macroprocess must be done in a summary block diagram, containing beginning and end, considering in high level the main processes, as well as their main inputs and outputs. Each process must be named, described and identified with a unique code, so as to ensure the traceability of information throughout the analysis.

Processes can be named from the way raw materials are transformed into products. The simplest macroprocess would consist of only one process with one input and one output. However, the raw materials that constitute the process input may need some processing before feeding the process that turns them into the product of interest. Likewise, the product obtained may need treatment in order to meet the necessary specifications. In this way, a simple macroprocess could be represented generically by three processes: processing of raw materials, manufacturing of products and processing of products. An example is shown in Figure 1.

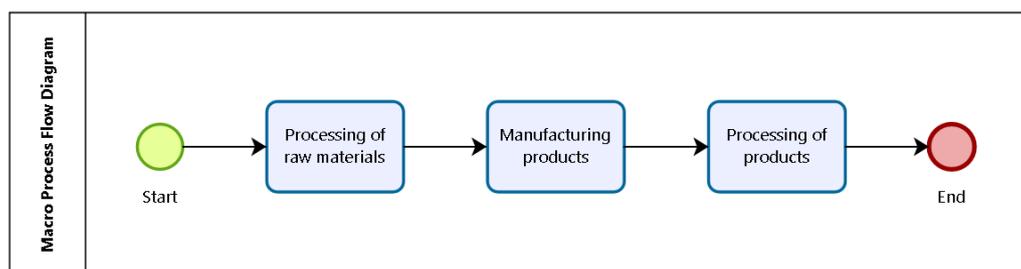


Figure 1. Flow diagram for a three-step macroprocess.

It may occur, however, that there is more than one raw material treatment process or more of one raw material that requires treatment. In addition, obtaining the product may be accompanied by a co-product, and both may need one or more treatment processes.

It is noted, therefore, that the amount of processes varies according to the type of product and the way it is obtained. Although the methodology is applicable regardless of the number of processes, it is recommended that a macroprocess be represented in a flowchart containing 3 (which corresponds to a process for the steps: processing of raw material, transformation of raw material into product and treatment of the product obtained) to 9 processes (equivalent to three processes of raw materials, three manufacture process and three processes of products and co-products).

3.2 Step 2 – Perform the hierarchical decomposition of processes

The second step is to define the scope of the environmental analysis, through the decomposition of the processes until the identification of the sources of pollution, in order to avoid lack of focus and the adoption of subjective criteria during the environmental analysis.

Represent the type of industry under analysis in a block on the first line. Establish the first level of hierarchical decomposition based on the processes obtained in the first step, in order to obtain a structure similar to an organization chart.

Select a process and perform the decomposition in simpler processes, obtaining the second level of hierarchical decomposition, and so on up to a level that allows the understanding of the activities performed that may represent potential sources of pollution.

An example of a hierarchical process decomposition is shown in Figure 2. In this example, the main process is decomposed into three processes (P1, P2 and P3), the first two processes being decomposed into two (P11 and P12) and three (P21, P22 and P23) processes respectively. One of the processes obtained in the second level (P21) is still decomposed into two other processes (P211 and P212), in a third level of decomposition.

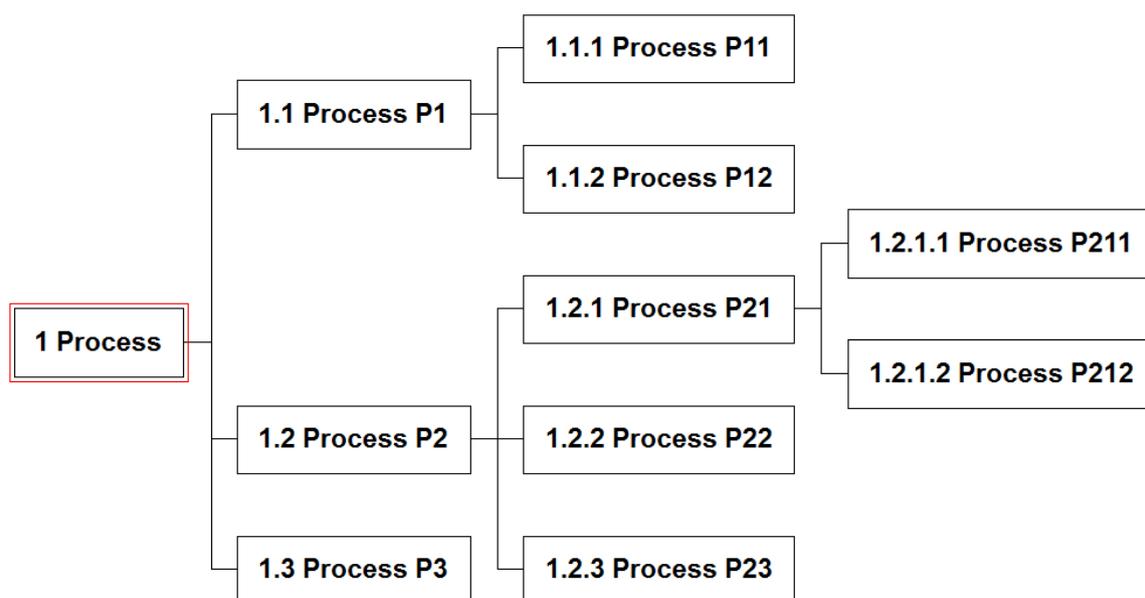


Figure 2. Example of hierarchical process decomposition.

The extent of decomposition varies according to the degree of detail required for an adequate environmental assessment, which may vary according to the type and complexity of the process. The subdivision of the process into smaller components allows for better management of environmental pollution sources, with a clearer definition of the scope of environmental analysis, which contributes to greater agility and assertiveness by environmental agencies.

The methodology can be applied to any type of process and configuration, however it is recommended that the number of processes obtained from the decomposition of a given level is at least 2 and a maximum of 9 processes. This is because it does not make sense to decompose a process into a single process, because it would be identical to the process at the previous level. Thus, depending on the amount of decomposition levels it may be necessary to decompose a process into two or more processes. Similar to what was argued in step 1, it is recommended not to decompose a process into more than 9 processes. If this condition is verified, the processes should be grouped and decomposed into one more level.

Each decomposed process must be named with a noun, described and identified with a unique code, so as to ensure the traceability of information throughout the analysis. The principles of subordination between elements should be observed, avoiding ambiguous names and denotation of different elements with the same name to facilitate understanding.

Processes can be named from the way the activities that integrate it transform inputs into outputs, from physical changes or chemical conversions, Since physical or chemical transformation processes are not perfect, wastes are generated and, if control is not adequate, there may be emission to the air and releases to water or land. Examples of processes of physical change and chemical conversion that may represent or contain sources of pollution are presented in Tables 1 and 2, respectively (Shreve, 2012).

Table 1 - Examples of physical changes.

Physical changes	
Gas absorption	Liquid phase extraction
Adsorption and ion exchange	Filtration
Aggregation	Flotation
Crushing	Granulation
Centrifugation	Leaching
Clarification	Milling
Crystallization	Screening
Distillation	Electrostatic separation
Dialysis	Sublimation
Gas diffusion	Transport of solids in bulk (transport on conveyors, pneumatic or fluidized)
Electrodialysis	Transport and storage of fluids (pumps, compressors, blowers, valves, pipes, tanks and reactors)

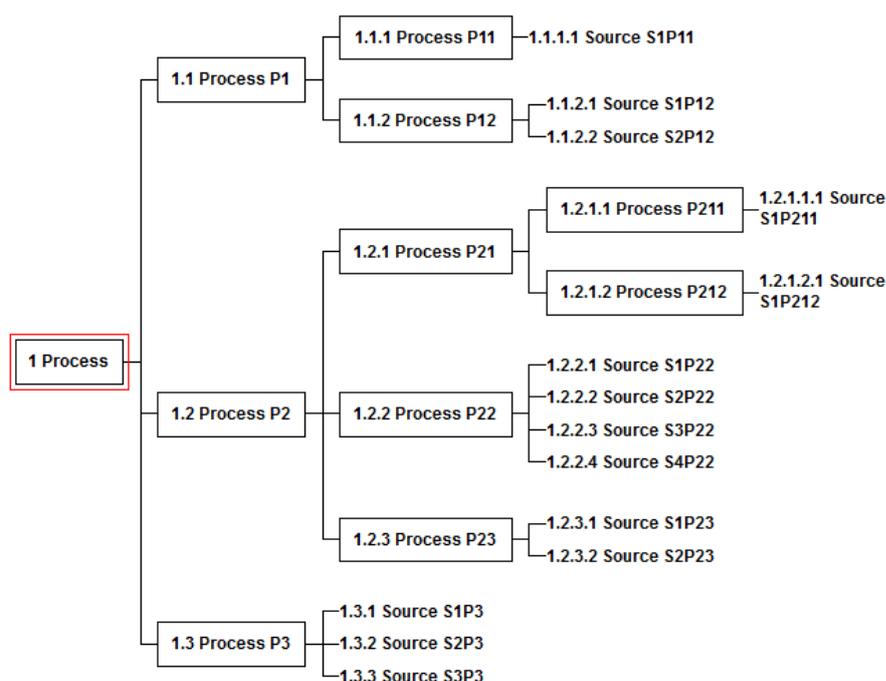
Table 2 - Examples of chemical conversions.

Chemical Conversions		
Acylation	Condensation	Hydrolysis and hydration (saponification, alkaline fusion)
Alcohololysis	Dehydration	Isomerization
Alkylation	Diazotization and coupling	Neutralization
Amination by reduction	Double decomposition	Nitration
Ammonolysis	Electrolysis	Oxidation
Aromatization or cyclization	Esterification (sulfation)	Polymerization
Calcination	Fermentation	Pyrolysis or cracking
Carboxylation	Silicate formation	Friedel-Craft Reactions
Caustification	Halogenation	Reduction
Combustion	Hydrogenation, dehydrogenation and hydrogenolysis	Sulfonation

3.3 Step 3 – Identify pollution sources

Select a process in last level of hierarchical decomposition and identify if there are sources of pollution with: (i) emissions to air (point source or fugitive emissions); (ii) releases to water (surface waters (eg. lakes, rivers, dams, and estuaries), coastal or marine waters, and stormwater); (iii) releases to land (solid wastes, slurries, sediments, spills and leaks from processing activities and the storage and distribution of raw materials and products); and/or (iv) waste generation. Each source must be identified with a unique code, so as to ensure the traceability of information throughout the analysis.

This framework is the basis of the Pollution Sources Diagram (PSD), which will be obtained at the end of the application of the methodology. PSD draft example is shown in Figure 3.

**Figure 3. Pollution Sources Diagram draft example.**

3.4 Step 4 –Describe the pollution source

Select one of the sources of pollution identified in step 3 and indicate the related:

- (i) environmental aspect;
- (ii) pollutants generated;
- (iii) pollutants prevention measures and its performance;
- (iv) pollution control equipment/system or measures adopted and its performance and associated generation of waste;
- (v) emission estimation method or environmental monitoring equipment/system and its performance and results.

Also should be indicate information related to waste management: waste identification and its quantity and kind of transfer (Canada, 2015):

- (i) recycling and energy recovery: recovery of solvents, organic substances, metals and metal compounds, inorganic materials, acids or bases, catalysts, pollution abatement residues, or the refining or reuse of used oil;
- (ii) treatment prior to final disposal: physical, chemical, biological or thermal treatment and treatment in municipal sewage treatment plants;
- (iii) disposal: landfills, land application, underground injection, storage off-site prior to final disposal, and tailings and waste rock.

Examples of air and water pollution control equipment/system are shown in Figure 4 and 5, respectively.

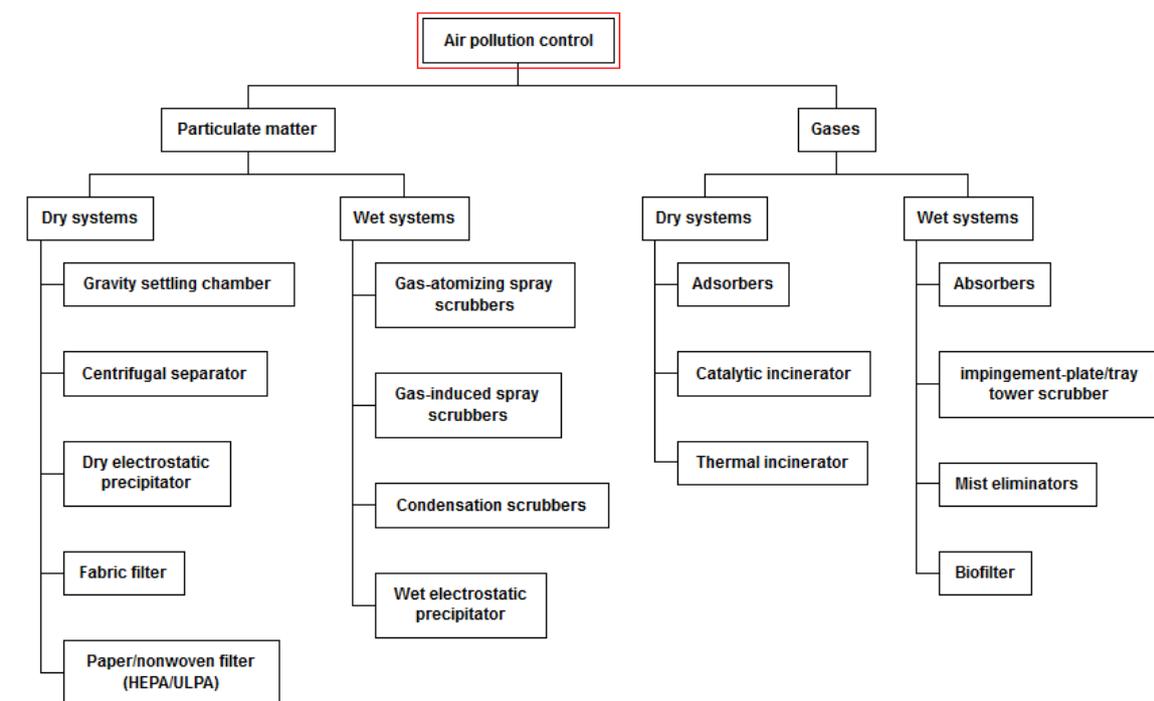


Figure 4. Air pollution control equipments.

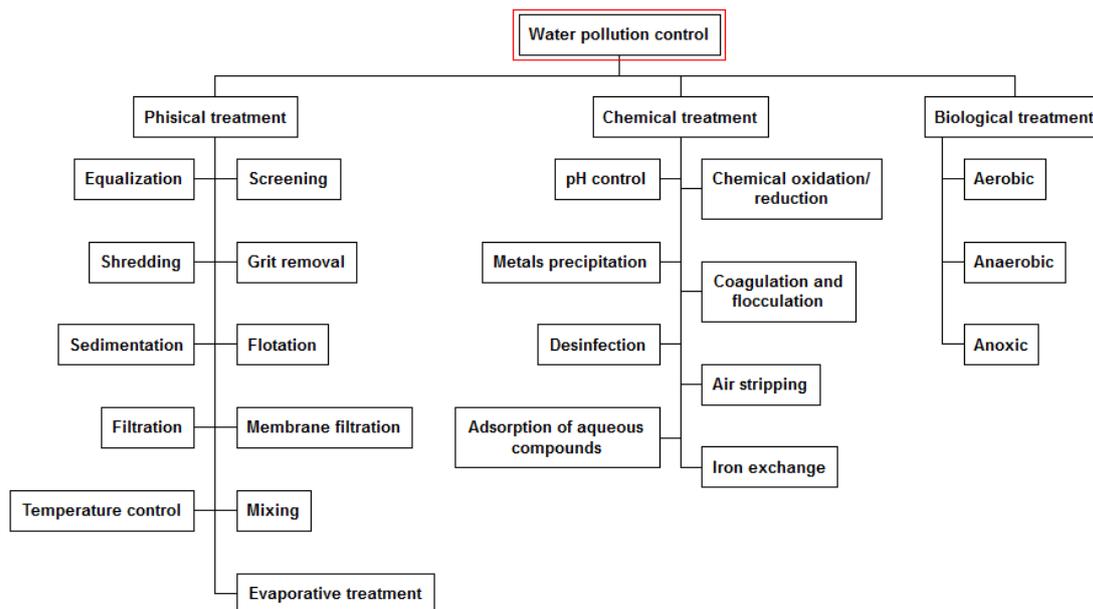


Figure 5. Water pollution control equipments.

3.5 Step 5 – Evaluate environmental monitoring and control

Evaluate the operational performance of the monitoring and control equipment/system and record the emission values of pollutants in the environment. Templates, spreadsheets and equipment manufacturer information may provide useful information to assess whether monitoring and control equipments works properly.

3.6 Step 6 – Assess pollution source compliance

Compare the results with applicable legal requirements and assess the environmental compliance status of the source of pollution. Figure 6 shows the detail of a pollution source (S1P11) with the information obtained in steps 3, 4 and 5.

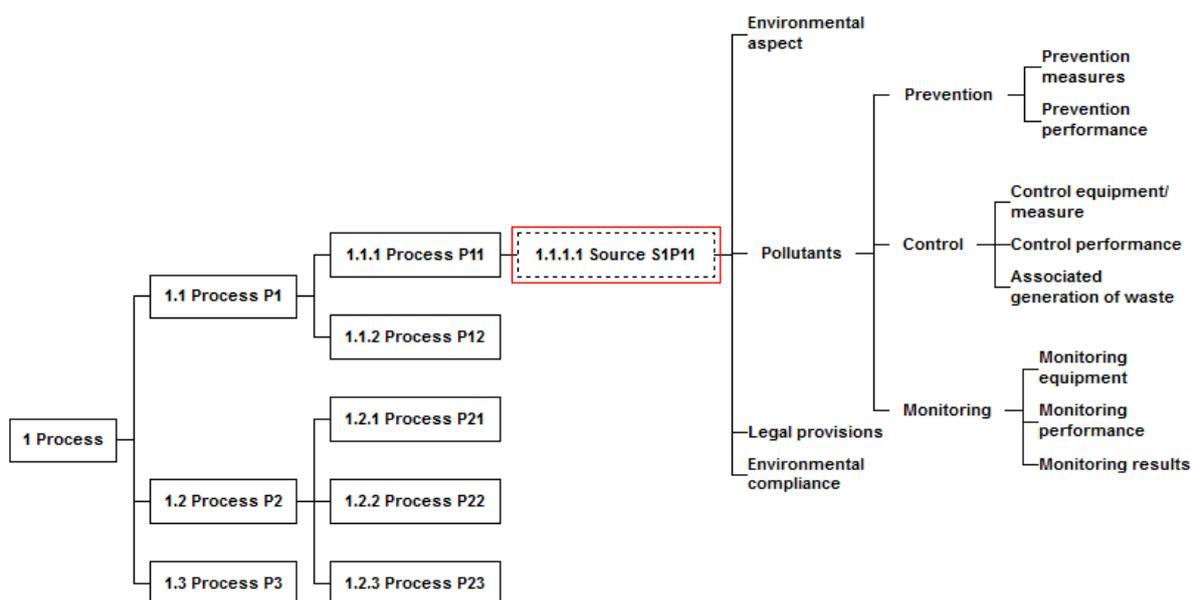


Figure 6. Pollution Sources Diagram example highlighting a specific source.

If there is another source of pollution contained in the same process, return to step 4; If not, return to step 3. Repeat until all the processes with the highest level of detail are considered in the hierarchical decomposition.

3.7 Step 7 – Consolidate the Pollution Sources Diagram (PSD)

Consolidate the diagram in the reverse order of the process decomposition, integrating data:

- (i) related to the pollutants emitted to air or released to water or soil and related to the waste generated in each process obtained in step 2, compare with the global mass balance and identify if there are deviations, which could indicate problems in the pollution sources control or monitoring. The accuracy of the data collected must be observed; and
- (ii) related to the environmental compliance status of each stage of the macroprocess, indicating the measures applicable in case of non-compliance.

As a result of the application of the methodology is obtained the final version of the Pollution Source Diagram (PSD), with all relevant information for the decision-making process consolidated into a single page.

3.8 Discussion

This paper presents a pragmatic approach to establish an optimized technical analysis in the environmental licensing process. For this, a methodology was developed in a relatively simple framework to identify the main sources of pollution of an industrial process, consolidating the necessary information to the decision process.

The main output is the Pollution Sources Diagram (PSD), which can be a useful tool to prevent and minimize environmental impacts resulting from a productive process and provide important feedback to environmental agencies to update policy measures and guide technical analysis in similar cases, since a database can be built and serve as a knowledge base, reducing subjectivity and lack of focus throughout the process. However, the approach employed has some limitations. For example, not all environmental aspects have been included and the application of the methodology depends on the quantity and quality of information available. Even so, the methodology enables a time- and cost-efficient way for environmental analysis, resulting in a shorter response time and an optimized control of sources of environmental pollution.

4. Conclusion

A technical analysis methodology was developed to contribute to optimize the environmental licensing process, several times criticized for reasons like slowness and subjectivity. The results suggest that methodology can be a useful tool for environmental agencies since it allows for a faster and more complete environmental analysis, better subsidizing the decision-making process. Further testing of the methodology in practical cases studies would be required to prove its effectiveness and point out improvement opportunities.

Still, it is believed that the systematization of the identification and analysis of pollution sources, through a coordinated and integrated form of environmental compliance assessment, using a tool that enables the construction and updating of workflows and a knowledge base

common to the technical staff contributes for greater assertiveness in the decisions taken by the environmental agencies and govern.

Thus, the methodology can contribute not only to the simplification of environmental licensing or of optimization the process of evaluation of environmental impacts, but also to the monitoring of these impacts, allowing the comparison between what was planned and the reality after the granting of environmental permit or license and the consideration of aspects of synergy and cumulativity in the analysis of new industries, with better results in environmental quality and control.

References

1. Abema (Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente) “Novas Propostas para o Licenciamento Ambiental no Brasil”, 2013.
Available in: http://www.abema.org.br/site/arquivos_anexo/Livro_Relatorio_Final_2.pdf.
Access on: February 22, 2017.
2. Arts, J., Caldwell, P., Morrison-Saunders, A. “Environmental impact assessment follow-up: good practice and future directions - findings from a workshop at the IAIA 2000 conference”. *Impact Assessment and Project Appraisal*, v. 19, n. 3, p. 175–185. 2001.
3. Australia. National Pollutant Inventory Guide. Australian Government. Department of Environment. Version 6.1. 2015.
4. Bizagi. Bizagi BPMN Modeler. “Bizagi”, 2016.
Available in: <http://www.bizagi.com/pt/produtos/bpm-suite/modeler>. Access on: March 8, 2017.
5. Braile, P.M., Cavalcanti, J.E.W.A. “Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais”. 1 ed., São Paulo: CETESB, 1993.
6. Bruin, Y. B., Peijnenburg, B. Vermeire, T. Posthuma, L., Hogendoorn, E., Verhoeven, J. “A tiered approach for environmental impact assessment of chemicals and their alternatives within the context of socio-economic analyses”. *Journal of Cleaner Production*. v. 108, p. 955-964. 2015.
7. Canada. “Summary Report: Reviewed Facility-Reported Data - National Pollutant Release Inventory (NPRI). 2015.
8. Carvalho, A., Mimoso, A. F., Mendes, A. N., Matos, H. A. “From a literature review to a framework for environmental process impact assessment index”. *Journal of Cleaner Production*, v. 64, p. 36-62. 2014.
9. Cheremisinoff, N. P.. “Handbook of Air Pollution Prevention and Control”. Butterworth-Heinemann, USA: Elsevier Science, 2002.
10. European Union. Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment. 2011.
11. Goulart, S.; Carvalho, C. A. O pesquisador e o design da pesquisa qualitativa em administração. In: VIEIRA, Marcelo Milano Falcão; Zouain, Deborah Moraes (orgs). *Pesquisa qualitativa em administração: teoria e prática*. Rio de Janeiro: FGV, 2005.
12. Marshall, R. Arts, J., Morrison-Saunders, A. “International principles for best practice EIA follow-up”. *Impact Assessment and Project Appraisal*, v. 23, n. 3, p. 175–181. 2005.
13. New Zeland. Guide to preparing EIA for Concession Applications. 2017.
14. Reinhold, V. N., “Air Pollution Engineering Manual”. Air and Waste Management Association (AWMA), 2 ed., New York, 1992.

15. Rhyner, C.R. e colaboradores. “Waste Management and Resource Recovery”. 1 ed., U.S.A.: Lewis Publishers, 1995.
16. Richardson, R. J. Pesquisa Social: Métodos e Técnicas. 3º Ed. São Paulo: Atlas, 1999.
17. Santos, M. S. S., Gestão da mudança organizacional: uma revisão teórica. Dissertation. Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro. Brazil. 2014.
18. Shreve, R.N., Brink, J.A. “Indústrias de Processos Químicos”. 4 ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2012.
19. The World Bank. “Getting to green - A Sourcebook of Pollution Management Policy Tools for Growth and Competitiveness”. Washington, DC, USA. 2012.
20. UNEP (United Nations Environment Programme). “Environmental Impact Assessment and Strategic Environmental Assessment: Towards an Integrated Approach”. Geneva, Switzerland. 2004.
21. USEPA, “AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors”. 5th edition, USA, 1995. Available in: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emission-factors>. Access on January 15, 2017.

APÊNDICE B – Artigo: Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Cement Manufacturing.

Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Cement Manufacturing

André Luiz Felisberto França, Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, Fabiana Valéria da Fonseca

Abstract— This paper presents an application of a methodology developed with the objective of optimizing environmental licensing and the evaluation of environmental impacts, through a stepwise and tiered approach whereby pollution sources are identified and analyzed systematically and in a coordinated and integrated manner, resulting in the Pollution Sources Diagram (PSD). It allows an agile and lean technical analysis and a more effective decision-support tool to the environmental agencies and government, which in turn are conditioned to offer more and more results to the society with less human and financial resources, which leads to the search for new tools for public environmental management and sustainable development. This paper presents the application of the PSD Methodology to the cement industry case. The results suggest that the methodology has the potential to enable more agile and efficient technical analysis by environmental agencies, thus contributing to faster responses to society and to the improvement of prevention, pollution control and environmental quality.

Index Terms—environmental management, pollution prevention and control, government, sustainable development.

I. INTRODUCTION

The transformation of natural resources into products useful for life in society allowed the development of civilizations and, for the most part, the environment was able to provide such resources in the quantity demanded and absorb the residues arising from the imperfection of the applied transformation processes. However, especially since the industrial revolution, the increasing amount of materials extracted from nature and the significant increase of pollutants generated led to a scenario with significant environmental impacts, which in some cases were no longer local and reached regional and global dimensions.

In the second half of the twentieth century, with the worsening of pollution episodes, environmental agencies were created and public environmental policies were published in several countries, and the concept of sustainable development was also coined [1].

The economic activities, essential for the development of societies, have since been subject to environmental pollution control rules and the granting of environmental permits and licenses, and even loans by some international institutions, have come to depend on previous assessment of the environmental impacts caused and the mitigation and compensation measures that would be adopted. Since the

imposition of such procedures, environmental agencies face the challenge of meeting society's increasing and more complex demands, managing conflicts and reconciling economic and social development with preservation of the environment [2]-[6].

However, the characteristic slowness of environmental licensing and permitting processes forces government to adopt more modern and effective management practices to meet the expectations and concerns of taxpayers. The subjectivity and imprecision in the technical analysis stand out among the main challenges of environmental licensing [7].

In order for environmental impacts to be adequately assessed, the environmental technical analysis must include three components, namely: manufacturing process, environmental controls and environmental legislation. Such information is available for research, but it is sparse and non-integrated, which hinders and limits the work of many environmental agencies. In this sense, it is necessary to seek new and more appropriate tools, which contribute to a more agile and assertive decision making by environmental agencies and governments [8].

For this purpose, the present work presents an application of Pollution Sources Diagram (PSD), a methodology of technical analysis for the optimization of the environmental licensing and granting of permissions. The PSD Methodology provides a coordinated and logical route for the integration of the relevant technical information for the accomplishment of a fast and standardized analysis. The methodology also represents more security and quality, thus contributing to the development of corporate processes and technological tools to obtain more effective results in the field of public environmental management and also to improve environmental control and quality [8].

To demonstrate the PSD methodology was chosen the cement industry case, an important sector for the society that presents diverse sources of pollution that, if they are not controlled properly, can result in negative environmental impacts.

II. METHODOLOGY

PSD Methodology, as presented in [8], was applied to the case of the cement industry, considering the following steps:

- Step 1 – Represent the macroprocess: knowledge of the industrial process is fundamental for understanding the relevant environmental aspects and for carrying out a complete and assertive environmental analysis. The representation of the macroprocess must be done in a summary block diagram, containing beginning and end, considering in high level the main processes, as well as their main inputs and outputs. Each process must be named,

André Luiz Felisberto França, School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, +5521995767580

Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, Chemical Engineering Department, E-207/ School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, +552139387603.

Fabiana Valéria da Fonseca, Inorganic Processes Department, E-206/ School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, +552139387640.

Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Cement Manufacturing

described and identified with a unique code, so as to ensure the traceability of information throughout the analysis.

- Step 2 – Perform the hierarchical decomposition of processes: the second step is to define the scope of the environmental analysis, by decomposing the processes to a level that covers the sources of air, water and soil pollution, even though the sources of pollution are not known at this stage, in order to avoid lack of focus and the adoption of subjective criteria during the environmental analysis. Represent the type of industry under analysis in a block on the first line. Establish the first level of hierarchical decomposition based on the processes obtained in the first step, in order to obtain a structure similar to an organization chart. Select a process and perform the decomposition in simpler processes, obtaining the second level of hierarchical decomposition, and so on up to a level that allows the understanding of the activities performed that may represent potential sources of pollution.

- Step 3 – Identify pollution sources: select a process in last level of hierarchical decomposition and identify if there are sources of pollution with: (i) emissions to air (point source, diffuse emissions or fugitive emissions); (ii) releases to water (surface waters (e.g. lakes, rivers, dams, and estuaries), coastal or marine waters, and stormwater); (iii) releases to land (solid wastes, slurries, sediments, spills and leaks from processing activities and the storage and distribution of raw materials and products); and/or (iv) waste generation. Each source must be identified with a unique code, so as to ensure the traceability of information throughout the analysis.

- Step 4 – Describe the pollution source: select one of the sources of pollution identified in step 3 and indicate the related:

- environmental aspect;
- pollutants generated;
- pollutants prevention measures and its performance;
- pollution control equipment/system or measures adopted and its performance and associated generation of waste; and
- emission estimation method or environmental monitoring equipment/system and its performance and results.

Also, it is recommended, if data is available, indicate information related to waste management: waste identification and its quantity and kind of transfer:

- recycling and energy recovery: recovery of solvents, organic substances, metals and metal compounds, inorganic materials, acids or bases, catalysts, pollution abatement residues, or the refining or reuse of used oil;
- treatment prior to final disposal: physical, chemical, biological or thermal treatment and treatment in municipal sewage treatment plants; and
- disposal: landfills, land application, underground injection, storage off-site prior to final disposal, and tailings and waste rock.

If there is another source of pollution contained in the same process, return to step 4; If not, return to step 3. Repeat until all the processes with the highest level of detail are considered in the hierarchical decomposition.

As a result of the application of the methodology is obtained the Pollution Source Diagram (PSD), with all relevant information for the decision-making process.

In this work, in order that the methodology was applied, specialized literature on the cement manufacturing process

[9]-[16] and referring to environmental control and related legislation [17]-[24] was considered as references.

It is important to note that the PSD methodology can be applied to both a productive sector and a specific activity or industrial plant. In the first case, the first four steps must be considered, whereas in the second case it is necessary to apply the seven steps originally envisaged. The objective of this paper was to evaluate the applicability of PSD methodology to a cement industry, however the methodology could be applied to a specific plant or unit, also following steps 5 to 7, in which case it should also consider the law applicable to the place where the plant is installed or intends to install.

The processes were modeled using Bizagi Modeler software, version 3.1.0.011, a business process management solution based on Business Process Modeling Notation (BPMN) [25] and PSD Diagram was created using WBS Schedule Pro software.

III. RESULTS

The methodology was applied at the sector level to the cement industry, with the results presented below:

A. Step 1 – Represent the macroprocess

Cement manufacturing macroprocess was represented in a summary block diagram, considering in high level the main processes (material handling, clinker burning, and cement handling), as well as their main inputs and outputs, as shown in Fig. 1. In this work the production of Portland cement by dry route was chosen because it corresponds to a more modern process and with lower energy consumption [12]. Each process was named, described and identified with a unique code, so as to ensure the traceability of information throughout the analysis, as show in Table I [13].

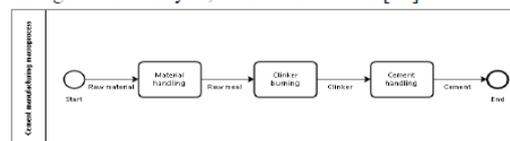


Fig. 1. Cement manufacturing macroprocess diagram.

Table I. Summary of the main cement manufacturing processes [13].

ID	Name	Description, inputs and outputs
1.1	Material handling	Inputs: Raw material Outputs: Raw meal Calcareous raw materials are crushed and then mixed and milled with other components such as iron oxide, alumina and silica to produce raw meal, which is carefully monitored and controlled. This step also comprises the preparation of the fuel.
1.2	Clinker burning	Inputs: Raw meal, fuels Outputs: Clinker, off-gas The raw meal is fed into the kiln, being subjected to consecutive stages consisting of: drying / preheating, calcination (release of CO ₂ from limestone) and sintering or clinkering. The product resulting from the burning, called clinker, is then cooled with air and transported to intermediate storage.
1.3	Cement handling	Inputs: Clinker Outputs: Cement The cement is produced from the milling together of clinker with gypsum in the cement mill. The cement produced is stored in silos, from where it goes to dispatch and packaging stages.

B. Step 2 – Perform the hierarchical decomposition of processes

In the second step was applied hierarchical process decomposition. The main processes of cement manufacturing

obtained in Step 1 were selected and decomposed in simpler processes, obtaining the second level of hierarchical decomposition, and so on up to a level that allows the understanding of the activities performed that may represent potential sources of pollution to air, water and soil, even though the sources of pollution are not known at this stage. The processes obtained were identified, named and described according to specialized literature on cement processes [9]-[16]:

- Material handling:

This process was decomposed into two processes: raw material handling (1.1.1) and fuel handling (1.1.2). As the processes were still very comprehensive, was applied a further level of hierarchical decomposition. So, raw material handling was decomposed into three processes (raw material storage (1.1.1.1), raw material processing (1.1.1.2), and raw material transport (1.1.1.3)). Besides that, raw material processing was subdivided into two processes: 1.1.1.2.1 raw material crushing and 1.1.1.2.2 raw material grinding. Fuel handling was divided into three processes: fuel storage (1.1.2.1), fuel preparation (1.1.2.2), and fuel transport (1.1.2.3).

Calcium is the element of highest concentration in Portland cement and can be obtained from calcareous raw materials (e.g. limestone, chalk, marl, sea shells, and aragonite) [13]. Cement plants are typically located close to naturally occurring these materials, which are extracted from quarries, providing calcium carbonate (CaCO₃). Small amounts of materials such as iron ore, bauxite, shale, clay or sand may be needed to provide the extra mineral ingredients, iron oxide (Fe₂O₃), alumina (Al₂O₃) and silica (SiO₂) necessary to produce the desired clinker. Raw material is quarried and transported to primary/secondary crushers and broken into 10 cm pieces. After crushing, the raw materials are mixed and milled together to produce raw meal [9]-[11]. Raw material storage includes the unloading operation and disposition in piles or bins [12].

Fuels comprises conventional kinds such as coal, petroleum coke and heavy oil and alternative fuels (e.g. tires, oil waste, plastics, and solvents). The preparation of fuels includes operations such as crushing, drying, grinding and homogenization and units such as silos and storage sheds for solid fuels, tanks for liquid fuels, as well transport devices and kiln feeding systems [13]-[16].

- Clinker burning

This process did not need to be decomposed since it was already at the last level of hierarchical decomposition and its decomposition already resulted in sources of pollution.

Precalcined meal enters the kiln at temperatures of around 1000°C. Fuel (such as coal, petroleum coke, gas, oil and alternative fuels) is fired directly into the rotary kiln at up to 2000°C to ensure that the raw materials reach material temperatures of up to 1450°C. The chemical decomposition of limestone generates typically 60% of total carbon dioxide (CO₂) emissions of the cement manufacturing process, whereas fuel combustion generates remaining CO₂. The kiln is a brick-lined metal tube 3-5 m wide and 30-60 m long that rotates about 3-5 times per minute, and the raw material flows down through progressively hotter zones of the kiln towards the flame. The intense heat causes chemical and physical reactions that partially melt the meal into clinker [10], [11].

From the kiln, the hot clinker is cooled using large quantities of air, part of which can serve as combustion air. Coolers are essential for the creation of the clinker minerals which define the performance of the cement. In this process, the combustion air is preheated, thereby minimizing overall energy loss from the system [9]-[13].

The clinkering process can be summarized in four stages [13]: 1. Evaporation of uncombined water from raw materials, as material temperature increases to 100°C; 2. Dehydration, as the material temperature increases from 100°C to approximately 430°C; to form oxides of silicon, aluminum, and iron; 3. Calcination, during which carbon dioxide (CO₂) is evolved, between 900°C and 982°C, to form CaO; and 4. Reaction of the oxides in the burning zone of the kiln, to form clinker at temperatures of approximately 1510°C.

- Cement handling

It was decomposed into two processes: cement grinding (1.3.1) and cement loading (1.3.2). It was not necessary to proceed with the decomposition of the processes, as it has already been possible to identify some sources of pollution at this level. In this stage, natural gypsum or anhydrite (up to 5%) and other mineral compounds are added to the clinker during grinding to meet product characteristics. The resulting cement is conducted in a closed-circuit system to the storage silos, from where it is shipped in bulk, or directed to the packing machines and subsequent shipment.

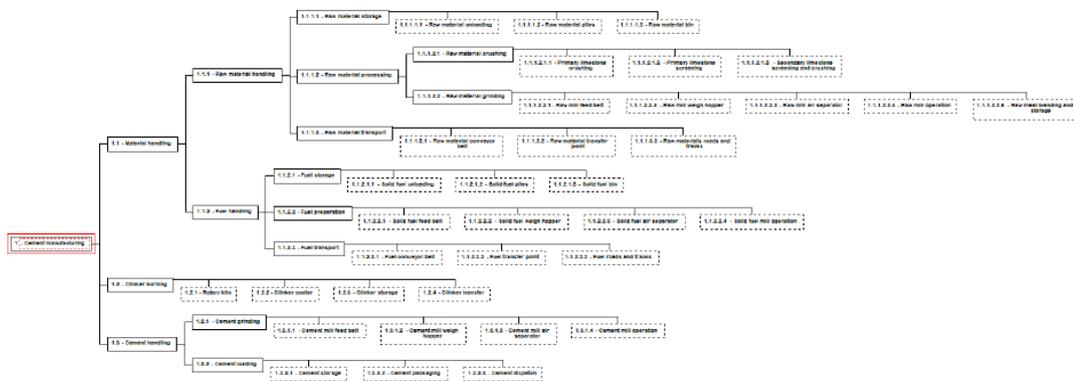


Fig. 2. Pollution Sources Diagram applied to cement manufacturing.

Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Cement Manufacturing

A. Step 3 – Identify pollution sources

Processes in last level of hierarchical decomposition was selected in order to identify if there were sources of pollution with: (i) emissions to air; (ii) releases to water; (iii) releases to land; and/or (iv) waste generation. Each source was identified with a unique code, to ensure the traceability of information throughout the analysis.

As a result the PSD framework was obtained, as shown in Fig. 2. Continuous border boxes represent the processes, while boxes with dotted edges represent the sources of pollution identified for a given process in the last level of hierarchical decomposition. It was identified 35 sources of pollution, being 24 sources referring to material handling, 4 sources associated to clinker burning, and 7 sources referring to cement handling.

B. Step 4 – Describe the pollution source

The pollution sources identified in Step 3 were grouped considering similarity criteria and were described considering specialized literature, especially [12] and [13], and complementarily [14]-[24], as shown below:

- Sources: 1.1.1.2.1.1 Primary limestone crushing, 1.1.1.2.1.2 Primary limestone screening, and 1.1.1.2.1.3 Secondary limestone screening and crushing (crushing of raw materials).
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: PM.
 - Pollutants prevention measures: enclose/encapsulate dusty operations, proper and complete equipment maintenance, and use automatic devices and control systems.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: fabric filter.
 - Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: USEPA AP42 CH11.6 – PM (kg/Mg of material process, considering fabric filter, to the sources listed above): 0.00050, 0.00011, and 0.00016, respectively. Periodic monitoring may be used if necessary.
- Sources: 1.1.1.1.1 Raw material unloading, 1.1.1.1.2 Raw material piles, 1.1.1.3.3 Raw materials roads and tracks, 1.1.2.1.1 Solid fuel unloading, 1.1.2.1.2 Solid fuel piles, and 1.1.2.3.3 Fuel roads and tracks (bulk storage areas and stockpiles).
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: particulate matter (PM) (diffuse dust emissions).
 - Pollutants prevention measures: open pile wind protection, water spray and chemical dust suppressors, paving, road wetting and housekeeping, humidification of stockpiles, and by matching the discharge height to the varying height of the heap, if possible automatically, or by reduction of the unloading velocity.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: Not applicable (NA).
 - Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: Conventional high volume (Hi-Vol) samplers with wind direction activators can be used to measure dust emissions.

- Sources: 1.1.1.3.1 Raw material conveyor belt, 1.1.1.3.2 Raw material transfer point, 1.1.2.3.1 Fuel conveyor belt, 1.1.2.3.2 Fuel transfer point, 1.2.4 Clinker transfer, and (raw material, fuel, and clinker transport).

- Environmental aspect: emissions to air.
- Pollutants generated: PM.
- Pollutants prevention measures: coverage or closure of conveyor belt and transfer points, proper and complete equipment maintenance, use automatic devices and control systems, and by using conveyor belts with adjustable heights.
- Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: Fabric filter in transfer points, if necessary.
- Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: No data (ND).

- Sources: 1.1.1.2.2.1 Raw mill feed belt, 1.1.1.2.2.2 Raw mill weigh hopper, 1.1.1.2.2.3 Raw mill air separator, 1.1.1.2.2.4 Raw mill operation, 1.1.2.2.1 Solid fuel feed belt, 1.1.2.2.2 Solid fuel weigh hopper, 1.1.2.2.3 Solid fuel air separator, 1.1.2.2.4 Solid fuel mill operation, 1.3.1.1 Cement mill feed belt, 1.3.1.2 Cement mill weigh hopper, 1.3.1.3 Cement mill air separator, and 1.3.1.4 Cement mill operation (grinding mills for raw materials, coal and cement).

- Environmental aspect: emissions to air.
- Pollutants generated: PM.
- Pollutants prevention measures: enclose/encapsulate dusty operations, proper and complete equipment maintenance, use automatic devices and control systems, and mobile and stationary vacuum cleaning.
- Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: electrostatic precipitator (ESP), fabric filter (FF) or hybrid filters; dust arising from off-gas cleaning units;
- Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: USEPA AP42 CH11.6 – PM (kg/Mg of material process, considering fabric filter, to the sources listed above): 0.0016, 0.010, 0.016, 0.0062, 0.0016, 0.010, 0.016, 0.0062, 0.0012, 0.0047, 0.014, and 0.0042, respectively. Periodic monitoring may be used if necessary.

- Sources: 1.1.1.1.3 Raw material bin, 1.1.1.2.2.5 Raw meal blending and storage, 1.1.2.1.3 Solid fuel bin, 1.2.3 Clinker storage, and 1.3.2.1 Cement storage (raw materials, fuel, clinker, and cement silo storage).

- Environmental aspect: emissions to air.
- Pollutants generated: PM.
- Pollutants prevention measures: proper and complete equipment maintenance, use automatic devices and control systems, and mobile and stationary vacuum cleaning.
- Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: fabric filter.
- Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: ND.

- Source 1.2.2 Rotary kiln [12]:

- Environmental aspect 1: emissions to air.
- Pollutants generated: particulate matter (PM), fine dust (PM₁₀ e PM_{2.5}), nitrogen oxides (NO_x), sulfur dioxide (SO₂), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), total organic compounds (TOC), Polychlorinated dibenzo-p-dioxins

(PCDD) and dibenzofurans (PCDF), metals and their compounds,

Hydrogen chloride (HCl) and hydrogen fluoride (HF), ammonia (NH₃), polyaromatic hydrocarbons (PAH), Benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX), and other organic pollutants (chlorobenzenes, PCB (polychlorinated biphenyls), and chloronaphthalenes).

- Pollutants prevention measures:

(i) PM: proper and complete equipment maintenance; process control optimization, including computer-based automatic control, and by using modern, gravimetric solid fuel feed systems.

(ii) NO_x: flame cooling, e.g. high water content, liquid/solid wastes, low NO_x burners, mid kiln firing, addition of mineralizers to improve the burnability of the raw meal (mineralized clinker), staged combustion (conventional or waste fuels) also in combination with a precalciner and the use of optimized fuel mix, and process optimization;

(iii) SO₂: optimizing the clinker burning process including the smoothing of kiln operation, uniform distribution of the hot meal in the kiln riser and prevention of reducing conditions in the burning process as well as the choice of raw materials and fuels;

(iv) CO: selection, when possible, of raw materials with a low content of organic matter also reduces the emissions of CO, and improvement in combustion (optimization and quality of the fuel feed, burner properties and configuration, kiln draft, combustion temperature and residence time);

(v) TOC: natural or waste raw materials with a high content of volatile organic compounds (VOC) should not, if a choice is possible, be fed into the kiln system via the raw material feeding route and fuels with a high content of halogens should not be used in a secondary firing;

(vi) HCl and HF: the use of raw materials and fuels containing low chlorine and low fluorine levels;

(vii) PCDD and PCDF: a smooth and stable kiln process, applying process control optimization and use of modern fuel feed systems; minimizing fuel energy use by means of preheating and precalcination; careful selection and control of substances entering the kiln with selection and use of homogeneous raw materials and fuels with a low content of sulphur, nitrogen, chlorine, metals and volatile organic compounds, if practicable; quick cooling of kiln exhaust gases to lower than 200 °C; limitation or avoidance of waste used as raw material feed if it includes organic chlorinated materials; not using waste fuel feeding during start-ups and shutdowns; monitoring and stabilization of critical process parameters, i.e. homogenous raw mix and fuel feed, regular dosage and excess oxygen; fuels with a high content of halogens should not be used in a secondary firing; and

(viii) metals: Feeding materials with a high content of volatile metals, especially mercury (Hg) and Thallium (Tl), into the kiln system should be avoided.

- Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste:

(i) PM: electrostatic precipitator (ESP), fabric filter (FF) or hybrid filters; dust arising from off-gas cleaning units;

(ii) NO_x: Selective catalytic reduction (SCR), Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR) and high efficiency SNCR;

(iii) SO₂: absorbent addition, wet scrubber, and activated carbon;

(iv) TOC: adsorption on activated carbon can be considered, if elevated concentrations occur;

(v) HCl and HF: absorbent injection or scrubber techniques. Much of the fluoride is captured by the clinker and the remainder is taken out as calcium fluoride (CaF₂) together with the particulate material.

(vi) PCDD and PCDF: adsorption on activated carbon, if elevated concentrations occur. Attention point is the hazardous waste generated;

(vii) metals: Non-volatile metals are, to a large extent, captured within the clinker and the remainder is taken out together with the particulate material. One way to minimize mercury emissions is to lower the exhaust temperature. Other option is adsorption of mercury (metallic and ionic) on powdered activated carbon injection. Attention point is the hazardous waste generated.

- Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: (i) estimation method: USEPA AP42 CH11.6 (PM, SO₂, NO_x, CO, CO₂, and TOC) [13]; (ii) monitoring: continuous (kiln processes (pressure, temperature, O₂ content, CO, NO_x, and SO₂), and air emissions (exhaust volume, humidity, temperature, dust, O₂, CO, NO_x, and SO₂)), and regular periodic monitoring (TOC, HCl, HF, NH₃, PCDD/F, metals and their compounds, and under special operating conditions BTX (benzene, toluene, xylene), PAH (polyaromatic hydrocarbons), and other organic pollutants (e.g. chlorobenzenes, PCB (polychlorinated biphenyls), chloronaphthalenes) [12]. It is important to emphasize that CO monitoring is especially critical when using electrostatic precipitators or hybrid filters due to explosion risks. In this case, when a critical CO level is reached, the environmental control equipment should be shutdown, which, depending on the time, can lead to a significant increase in the emission of particulate matter. For this reason, the CO concentration should be monitored continuously and measures should be taken in such a way as to cause the least possible interruption in the operation of ESP or hybrid filters (e.g. ranges of between 1–29 minutes per year, respectively < 0.001–0.009% of the total kiln operation).

In units where waste is reused (coprocessing), the installation of an air quality monitoring station may be necessary, especially when there are residences near the plant.

- Environmental aspect 2: waste generation

- Pollutants generated: PM (Miscellaneous (depends on raw materials, fuels and waste fed in the rotary kiln));

- Kind of transfer: collected dust can be recycled back into the production processes whenever practicable. This recycling may take place directly into the kiln or kiln feed or by blending with finished cement products.

• Source 1.2.3 Clinker cooler:

- Environmental aspect: emissions to air.

- Pollutants generated: PM.

- Pollutants prevention measures: proper and complete equipment maintenance, and use automatic devices and control systems.

- Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: electrostatic precipitator (ESP), fabric filter (FF) or hybrid filters; dust arising from off-gas cleaning units.

Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Cement Manufacturing

- Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: Periodic monitoring may be used if necessary.

- Source: 1.3.2.2 Cement packaging, and 1.3.2.3 Cement dispatch (cement loading).
- Environmental aspect: emissions to air
- Pollutants generated: PM
- Pollutants prevention measures: proper and complete equipment maintenance, use automatic devices and control systems, mobile and stationary vacuum cleaning, and use flexible filling pipes for dispatch and loading processes, equipped with a dust extraction system for loading cement in the loading floor of the lorry.
- Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: fabric filter
- Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: Periodic monitoring may be used if necessary.

An environmental aspect common to all sources mentioned above is the emission of noise (e.g. chutes and hoppers, any operations involving fracture, crushing, milling and screening of raw material, fuels, clinker and cement, exhaust fans, blowers, and duct vibration) which, in general, can be characterized as follows:

- Environmental aspect: Noise emissions
- Pollutants generated: Noise
- Pollutants prevention measures: Regular maintenance of production and control equipment.
- Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: Sound insulation of equipment; natural noise barriers, such as office buildings, walls, trees or bushes.
- Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: ISO 1996-1:2016, and ISO 1996-2:2017 [26],[27].

Regarding waste management, the main waste generated is collected dust from air pollution control equipments. In general, collected dust can be recycled back into the production processes whenever practicable. This recycling may take place directly into the kiln or kiln feed or by blending with finished cement products. The main limiting factor is the alkali metal content, which can damage the inner liner of the rotary kiln. Others limiting factors are the content of other metals and the content of chlorine, because they can contribute to negative effect on metal emissions and impair product quality requirements, respectively.

It is also recommended that the handling of fuels and hazardous waste be carried out in a paved area with appropriate drainage to avoid leaks and contamination of the soil and to transport to the rainwater galleries.

Finally, about releases to water, in general, cement production does not generate wastewater. Just small quantities of water are used to cleaning processes, being recycled back into the process. In any case, it is recommended that a stormwater pollution prevention plan be adopted. It is important to note that its effectiveness is directly related to the control of air pollution, especially to fugitive and diffuse emissions.

IV. DISCUSSION

A Pollution Source Diagram (PSD) was obtained, as a result of the application of the methodology at a sector level with all the necessary information to understand how the cement process works and how its inputs, outputs and losses can impact the environment. The main sources of pollution have been mapped and identified as well as the pollutants generated and the main prevention and control measures applicable, allowing a high-level view that can serve as a starting point for environmental analysis of specific cement companies.

The main objective of this paper was to demonstrate the application of the PSD methodology to a sector, regardless of the specifics of a given enterprise. To apply PSD methodology to a specific cement production enterprise it is need to perform steps 5 to 7 with specific data, in order to evaluate environmental monitoring and control, assess pollution source compliance and consolidate a specific Pollution Sources Diagram (PSD).

The Pollution Sources Diagram (PSD) obtained in this work can be a useful tool to prevent and minimize environmental impacts resulting from a cement manufacturing process and provide important feedback to environmental agencies to update policy measures and guide technical analysis in similar cases, since a database can be built and serve as a knowledge base, reducing subjectivity and lack of focus throughout the process.

V. CONCLUSION

In this paper was presented a pragmatic approach to establish an optimized technical analysis in the environmental licensing process, several times criticized for reasons like slowness and subjectivity. For this, PSD methodology was applied to cement industry case. It was possible in a relatively simple framework to identify the main sources of pollution of cement industry, consolidating the necessary information to the decision process.

The results suggest that methodology can be a useful tool for environmental agencies since it allows for a faster and more complete environmental analysis, better subsidizing the decision-making process by environmental agencies.

The systematization of the identification and analysis of pollution sources, through a coordinated and integrated form of environmental compliance assessment, using a tool that enables the construction and updating of workflows and a knowledge base common to the technical staff can contributes for greater agility and assertiveness in the decisions taken by the environmental agencies and govern. Finally, the methodology can contribute not only to the simplification of environmental licensing or of optimization the process of evaluation of environmental impacts, but also to the monitoring of these impacts, allowing the comparison between what was planned and the reality after the granting of environmental permit or license and the consideration of aspects of synergy and cumulativity in the analysis of new industries, with better results in environmental control and quality, contributing thus to sustainable development.

REFERENCES

- [1] United Nations. "Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future". 1987.
- [2] The World Bank. "Getting to green - A Sourcebook of Pollution Management Policy Tools for Growth and Competitiveness". Washington, DC, USA. 2012.
- [3] United Nations Environment Programme (UNEP). "Environmental Impact Assessment and Strategic Environmental Assessment: Towards an Integrated Approach". Geneva, Switzerland. 2004.
- [4] Arts, J., Caldwell, P., Morrison-Saunders, A. "Environmental impact assessment follow-up: good practice and future directions - findings from a workshop at the IAIA 2000 conference". Impact Assessment and Project Appraisal, v. 19, n. 3, pp. 175-185. 2001.
- [5] Carvalho, A., Mimoso, A. F., Mendes, A. N., Matos, H. A. "From a literature review to a framework for environmental process impact assessment index". Journal of Cleaner Production, v. 64, pp. 36-62. 2014.
- [6] Marshall, R. Arts, J., Morrison-Saunders, A. "International principles for best practice EIA follow-up". Impact Assessment and Project Appraisal, v. 23, n. 3, pp. 175-181. 2005.
- [7] Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente (Abema). "Novas Propostas para o Licenciamento Ambiental no Brasil". pp. 24-25. 2013. Available: http://www.abema.org.br/site/arquivos_anexo/Livro_Relatorio_Final_2.pdf
- [8] França, A. L. F., Pessoa, F. L.P., Araujo, F. V. F. "Technical analysis methodology for the optimization of environmental licensing" in Sustainable Development Conference, Bangkok-Thailand, 13-15 July, pp. 194-205. 2017.
- [9] Shreve, R.N., Brink, J.A. "Indústrias de Processos Químicos". 4 ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. pp. 138-158. 2012.
- [10] The European Cement Association (CEMBUREAU). "The story of cement manufacture". 2017. Available: <https://cembureau.eu/media/1544/cementmanufacturing.pdf>
- [11] The Portland Cement Association. "How Cement is Made". 2017. Available: <http://www.cement.org/cement-concrete-basics/how-cement-is-made>
- [12] European Union. "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and control". 2013. Available: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>
- [13] USEPA. "Emission Factor Documentation for AP-42 - Portland Cement Manufacturing - Final Report". 1994. Available: <https://www3.epa.gov/ttn/chie/ap42/ch11/index.html#main>
- [14] USEPA. "Available and emerging technologies for reducing greenhouse gas emissions from the portland cement industry". 2010. Available: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/cement.pdf>
- [15] The European Cement Association (CEMBUREAU). "Best available techniques for the cement industry". Brussels, 1999. Available: http://www.partnersforinnovation.com/sustainablebeton/Landen%20%20regio%20s/LinkedDocuments/CEMBUREAU_BAT_Reference_Document_2000-03.pdf
- [16] Ireland. "BAT Guidance Note on Best Available Techniques for the Production of Cement and for the Production of Lime in a Kiln". 2008. <https://www.epa.ie/pubs/advice/bat>
- [17] World Cement Association (WCA). "World Cement Association Sustainability Effort". 2017. Available: <http://www.worldcementassociation.org/sustainability/wcasi-wca-sustainability-initiative>
- [18] Rhyner, C.R. e colaboradores. "Waste Management and Resource Recovery". 1 ed., U.S.A.: Lewis Publishers, pp. 382-395. 1995.
- [19] Cheremisinoff, N. P.. "Handbook of Air Pollution Prevention and Control". Butterworth-Heinemann, USA: Elsevier Science, pp. 53-147. 2002.
- [20] USEPA. "Federal Register - National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for the Portland Cement Manufacturing Industry and Standards of Performance for Portland Cement Plants". Vol. 80, N°. 143, July 27, 2015. Available: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2015-07-27/pdf/2015-16811.pdf>
- [21] European Union. "Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment". 2011. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2012:026:FULL&from=FR>
- [22] European Union. "Directive 2014/52/EU of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 amending Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment". 2014. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2014:124:FULL&from=EN>
- [23] European Union. "Directive 2010/75/EU on industrial emissions (integrated pollution prevention and control)". 2010. Available: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:en:PDF>
- [24] European Union. "Decision 2012/119/EU laying down rules concerning guidance on the collection of data and on the drawing up of BAT reference documents and on their quality assurance referred to in Directive 2010/75/EU". 2012. Available: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:063:0001:0039:en:PDF>
- [25] Bizagi. Bizagi Business Process Modeling Notation (BPMN) Modeler. "Bizagi", 2016. Available: <http://www.bizagi.com/pt/producos/bpm-suite/modeler>
- [26] International Organization for Standardization (ISO). "ISO 1996-1:2016 - Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures". 2016. Available: <https://www.iso.org/standard/59765.html>
- [27] International Organization for Standardization (ISO). "ISO 1996-2:2017 - Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 2: Determination of sound pressure levels". 2017. Available: <https://www.iso.org/standard/59766.html>

André Luiz Felisberto França holds a degree in Chemical Engineering from the Federal University of Rio de Janeiro (2008), Master's degree in Technology of Chemical and Biochemical Processes of the Federal University of Rio de Janeiro (2012) and is currently a PhD student in the same postgraduate program. He also holds an MBA in Project Management from Fundação Getúlio Vargas (FGV) (2015). He also serves as public servant/chemical engineer to the State Environmental Institute, which is the environmental agency of the State of Rio de Janeiro/Brazil.

Fernando Luiz Pellegrini Pessoa holds a degree in Chemical Engineering from the Federal University of Bahia (1981), specialization in Petrochemical Engineering (CENPEQ-PETROBRAS/UFBA), specialization in Equilibrium Separation Processes (COFIC/UFBA), Master's Degree in Chemical Engineering from the Federal University of Rio de Janeiro (1987) and PhD in Chemical Engineering from the Federal University of Rio de Janeiro and University of Lyngby (Denmark) (1992). He worked at the Federal University of Bahia as a researcher (4 years) and at the Petrochemical Complex of Camaçari - Bahia (6 years). Currently he is professor of the Federal University of Rio de Janeiro, awarded as a Scientist of Our State (FAPERJ / RJ) and Researcher 1 (CNPq). It has about 150 papers published in national and international journals, and more than 120 students graduated in masters and/or doctorates. Translator of the Van Ness (Thermodynamics) and Incropera (Transfer of Mass and Heat). Coordinator of several projects with companies and governmental institutions and the Human Resources Program ANP 13. He has experience in Chemical Engineering, with emphasis on Applied Thermodynamics and Process Engineering, working mainly on the following topics: petroleum, petrochemical, natural products, supercritical fluid and phase equilibrium.

Fabiana Valéria da Fonseca holds a degree in Chemical Engineering from the Federal University of Rio de Janeiro (2000), Master's degree (2003) and Doctorate (2008) in Technology of Chemical and Biochemical Processes of the Federal University of Rio de Janeiro. She is currently a professor at the School of Chemistry of the Federal University of Rio de Janeiro and participates as a permanent professor of the Postgraduate Program in Chemical Processes and Biochemical Processes (EQ/UFRJ) and the Environmental Engineering Program (UFRJ). She participates in the Integrated Nucleus of Reuse of Industrial Waters and Effluents (NIRAE / RJ) and reviewer of periodical products: Environmental Technology, J. Harz. Materials, Chemical Engineering Journal, Water Science and Technology and Desalination and Water Treatment. She has experience in Chemical Engineering, with emphasis on: Advanced Oxidative Processes, Treatment and Reuse of Water and Industrial Effluents, Removal of micropollutants in water, Chemical processes and Nanotechnology applied to water treatment.

APÊNDICE C – Artigo: Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Glass Manufacturing.

Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Glass Manufacturing

André Luiz Felisberto França, Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, Fabiana Valéria da Fonseca

Abstract— In this paper is presented an application of a methodology developed with the objective of optimizing environmental licensing and the evaluation of environmental impacts, through a stepwise and tiered approach whereby pollution sources are identified and analyzed systematically and in a coordinated and integrated manner, resulting in the Pollution Sources Diagram (PSD). Additionally, it was applied the Precedence Diagramming Method (PDM) and obtained an Environmental Inspection Workflow (EIW) and it was carried out the process modeling using a Business Process Management (BPM) solution. The application case was float glass manufacturing, which plays a significant role in building and automotive industry, but if not controlled properly, can result in negative environmental impacts. The results showed that PSD Methodology allows an agile and lean technical analysis and a more effective decision-support tool to the environmental agencies and government, thus contributing to faster responses to society and to the improvement of prevention, pollution control and environmental quality.

Keywords— environmental management, pollution prevention and control, glass, sustainable development.

I. INTRODUCTION

Since the second half of the twentieth century, with the worsening of pollution episodes, some economic activities, essential for the development of societies, have been subject to environmental pollution control rules and the granting of environmental permits and licenses. A development concept was coined bringing a new bias: sustainability [1].

Even loans by some international institutions, have come to depend on previous assessment of the environmental impacts caused. As the imposition of such procedures grew, governments created environmental agencies to face the challenge of meeting society's complex demands, managing conflicts and reconciling economic and social development with preservation of the environment [2]-[6].

However, the slowness of environmental licensing and permitting processes forces government to adopt more modern and effective practices to meet the expectations and concerns of taxpayers. In this way, the subjectivity and imprecision in the technical analysis stand out among the main challenges of environmental licensing [7].

André Luiz Felisberto França, School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, +5521995767580, (e-mail: andrefranca.projetos@gmail.com).

Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, Chemical Engineering Department, E-207/ School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, +552139387603, (e-mail: pessoa@eq.ufri.br).

Fabiana Valéria da Fonseca, Inorganic Processes Department, E-206/ School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, +552139387640, (e-mail: fabiana@eq.ufri.br).

The environmental technical analysis must include three components to assure environmental impacts to be adequately assessed, namely: manufacturing process, environmental controls and legislation. Such information is available for research, but it is very sparse and non-integrated, which hinders and limits the work of many environmental agencies. In this sense, it is necessary to seek new and more appropriate tools, which contribute to a more agile and assertive decision making by environmental agencies and governments [8].

For this purpose, the present work presents an application of Pollution Sources Diagram (PSD), a methodology for optimization of technical analysis in environmental licensing and granting of permissions. The PSD Methodology provides a coordinated and logical route for the integration of the relevant technical information for the accomplishment of a fast and standardized analysis. The methodology also represents more security and quality, thus contributing to the development of corporate processes and technological tools to obtain more effective results in the field of public environmental management and also to improve environmental control and quality [8].

To demonstrate the PSD methodology was chosen the glass industry case, more specifically the float glass manufacturing, an important sector for the society that presents diverse sources of pollution that, if they are not controlled properly, can result in negative environmental impacts.

Glass is a substance used since around 3000 to 2000 B.C., made mainly from oxides (e.g. SiO_2 , Na_2O , CaO , etc.), that may be likened to a solid state, but which has the properties of a highly viscous liquid, exhibiting neither a crystalline structure nor a distinct melting point [9-10].

One of the important applications of glass occurs in the building and automotive industry, in the form of flat glass, which is prepared from a specific formulation called soda-lime. The two manufacturing processes for producing flat glass are the float glass and rolled glass processes. Due its importance and prevalence, in this work will be considered the float glass process.

The float process was invented by Sir Alastair Pilkington in 1952. A float glass plant can make around 6.000 km of glass a year, which equals the radius of the Earth [11].

Flat glass production is a mature, cyclical, and essentially a commodity business. It is a very capital-intensive activity requiring substantial financial resources, long-term investment and highly technical skills. Each week, between 350 and 400 float glass lines around the world yield about 1,000,000 tons of glass [12].

Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Glass Manufacturing

II. METHODOLOGY

PSD Methodology, as presented in [8], was applied to float glass manufacturing, considering the following steps:

- Step 1 – Represent the macroprocess: must be done in a summary block diagram, considering in high level the main processes, as well as their main inputs and outputs.
- Step 2 – Perform the hierarchical decomposition of processes: Select a process and perform the decomposition in simpler processes, obtaining the second level of hierarchical decomposition, and so on up to a level that allows the understanding of the activities that may represent potential sources of pollution.
- Step 3 – Identify pollution sources: select a process in last level of hierarchical decomposition and identify if there are sources of pollution with: (i) emissions to air (point source, diffuse emissions or fugitive emissions); (ii) releases to water (surface waters, coastal or marine waters, or stormwater); (iii) releases to land (solid wastes, slurries, sediments, spills and leaks from processing activities and the storage and distribution of raw materials and products); and/or (iv) waste generation.

• Step 4 – Describe the pollution source: select one of the sources of pollution identified in step 3 and indicate the related: (i) environmental aspect; (ii) pollutants generated; (iii) pollutants prevention measures; (iv) pollution control equipment/system or measures adopted; and (v) emission estimation method or environmental monitoring equipment/system. Also, it is recommended, if data is available, indicate information related to waste management: waste identification and its quantity and kind of transfer (recycling and energy recovery, treatment prior to final disposal, and disposal).

If there is another source of pollution contained in the same process, return to step 4; If not, return to step 3. Repeat until all the processes with the highest level of detail are considered in the hierarchical decomposition.

PSD methodology can be applied to both a productive sector and a specific activity or industrial plant. In the first case, the first four steps must be considered, whereas in the second case it is necessary to apply the seven steps originally envisaged. The objective of this paper was to evaluate the applicability of PSD methodology to float glass manufacturing, so only steps 1 to 4 were required.

The Precedence Diagramming Method (PDM) was also applied. PDM is a technique used for constructing a schedule model in which activities are represented by nodes and are graphically linked by one or more logical relationships to show the sequence in which the activities are to be performed [13].

The processes were modeled using Bizagi Modeler software, version 3.1.0.011, a business process management solution based on Business Process Modeling Notation (BPMN) [14]. PSD Diagram and PDM based flowchart were created using WBS Schedule Pro software.

In this work, in order that the methodology was applied, specialized literature on the glass manufacturing process [9], [15]-[20] and referring to environmental control and related legislation [17]-[26] was considered as references.

III. RESULTS

The methodology was applied at the sector level to the float glass manufacturing, with the results presented below:

A. Step 1 – Represent the macroprocess

Float glass manufacturing macroprocess was represented in a summary block diagram, considering in high level the main processes (materials handling, glass melting, glass forming, and glass finishing), as well as their main inputs and outputs, as shown in Fig. 1.

The production of float glass with a basic soda-lime formulation, with cross-fired regenerative furnace, was chosen in this work because its predominance in flat glass production [17].

Each process was named, described and identified with a unique code, to ensure the traceability of information throughout the analysis, as show in Table I [9,11,17,18].

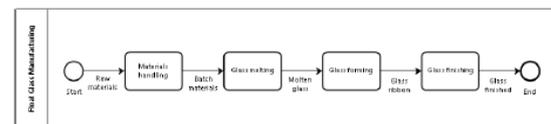


Fig. 1. Float glass manufacturing macroprocess diagram.

Table I. Summary of the main float glass manufacturing processes [9,11,17,18].

ID	Name	Description, inputs and outputs
1.1	Materials handling	Inputs: raw materials Outputs: batch materials, dust The raw materials are delivered by rail or road haulage. Coarse raw materials are conveyed either directly to stockpiles or silos, whereas granular and powdered raw materials are transferred mechanically or pneumatically to bulk storage silos. The raw materials are transferred to smaller intermediate silos from where they are weighed out to formulate a specific batch, that is then mixed and conveyed to the furnace area.
1.2	Glass melting	Inputs: batch materials, energy, cullet Outputs: molten glass, off-gas The melting process is a complex combination of physical processes and chemical reactions, that comprises melting, refining, and homogenizing. This process continuously delivers glass, free from inclusions and bubbles, to the float bath.
1.3	Glass forming	Inputs: molten glass, tin in the float bath Outputs: glass ribbon The molten glass is poured onto a bath of molten tin and form a ribbon with the upper and lower surfaces becoming parallel under the influence of gravity and surface tension.
1.4	Glass finishing	Inputs: glass ribbon, fuel, water, ancillary materials Outputs: glass finished, cullet, dust The performance of the product can be improved applying on-line coatings. After the float bath, the glass ribbon is passed through the Lehr (a temperature-controlled tunnel), to be annealed. After that, the glass is cooled, inspected, cutted, packaged and shipped.

B. Step 2 – Perform the hierarchical decomposition of processes

The main processes of float glass manufacturing obtained in Step 1 were selected and decomposed in simpler processes, obtaining a second level of hierarchical decomposition, and so on up to a level that allows the understanding of the activities performed, mainly unit operations and chemical conversions, that may represent potential sources of pollution to air, water and soil, even though the sources of pollution are not known at this stage. The processes obtained were identified, named and described according to specialized literature on glass processes [9, 17,18]:

• 1.1 Materials handling

This process was decomposed into two processes: Raw materials handling (1.1.1) and Fuel handling (1.1.2). As the processes were still very comprehensive, was applied a further level of hierarchical decomposition. So, Raw materials handling was decomposed into three processes (Raw materials storage (1.1.1.1), Raw materials processing (1.1.1.2), and Raw materials transport (1.1.1.3)).

Raw materials are unloaded and stored according to their physical and chemical characteristics. Coarse raw materials are stored in stockpiles or silos whilst powdered and granular raw materials are stored in silos and bins. Lower volume materials can be delivered in bags or kegs and are usually gravity fed to the mixing vessels. Special attention must be given to liquids raw materials storage due their potential risks of spillages and leaks and releases to water and land.

Materials usually utilized in flat glass sector are presented in Table II.

Table II. Materials utilized in the flat glass sector [17].

Description	Materials
Glass-forming material	Silica sand, process cullet, (sometimes also post-consumer cullet)
Glass intermediate and modifying materials	Sodium carbonate (soda ash), limestone, dolomite, calcium sulfate and gypsum, nepheline syenite, feldspar, blast furnace slag, carbon and filter dust
Glass oxidants and fining agents	Sodium sulfate, carbon, sodium nitrate
Glass colouring agents	Potassium dichromate, iron oxide, cobalt oxide, cerium oxide, selenium metal or zinc selenite
On-line coating processes	Silicon compounds (e.g. silicon tetrachloride, silicon carbonates), strong acid halides, organic and inorganic tin compounds
Fuels	Fuel oil, natural gas, electricity, back up light fuel oils
Water	Mains supply and local natural sources (wells, rivers, lakes, etc.)
Ancillary materials	Packaging materials including plastics, paper, cardboard, and wood Machine lubricants, predominantly mineral oils Process gases including nitrogen, hydrogen and sulfur dioxide Tin in the float bath Water treatment chemicals for cooling water and waste water

Materials containing silica (sand and glass cullet) and the carbonates (soda ash, dolomite and limestone) represents the largest inputs to the process.

Sand is the most important raw material for glass making and is the principal source of SiO_2 . However, the melting point of sand is too high for economic melting and a fluxing agent, usually sodium oxide, is needed to reduce the melting temperature. The main source of sodium oxide is soda ash (Na_2CO_3). Sodium sulfate is a secondary source of sodium oxide and is added as a refining and oxidizing agent. Other metal oxides, such as calcium oxide (CaO) and magnesium oxide (MgO) are need to reinforce the glass structural network to improve its hardness and chemical resistance.

Most flat glass is produced with a basic soda-lime formulation and in a typical float glass composition, the oxides of silicon, sodium, calcium and magnesium account for around 98 % of the glass, as shown in Figure 2.

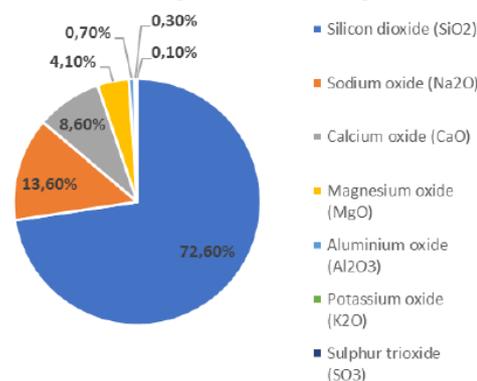


Figure 2. Typical soda-lime silica flat glass composition [17].

After crushing, raw materials are transferred to intermediate silos, weighed out, blended in the correct proportion (batch) and transferred by conveyors belts to batch storage bin, from where they are transferred to the furnace feeder (doghouse). Cullet is usually handled separately from the primary batch materials due to its larger particle size and abrasive nature, and may be fed to the furnace in measured quantities by a separate system.

Fuels can form a significant input into the processes because glass making is an energy-intensive process. Fuel oil and natural gas are the predominant energy sources for melting and they have a direct influence on the emissions of air pollutants. Fuel are stored and transferred to glass furnace and annealing lehr.

The glass industry is not a major consumer of water and, for this reason, does not present significant water pollution problems. The main uses of water are cooling, cleaning and batch humidification, in this last case to reduce dust during conveying and carryover of fine particles out of the furnace.

• 1.2 Glass melting

This process did not need to be decomposed since it was already at the last level of hierarchical decomposition and its decomposition already resulted in sources of pollution.

Because glass making is an energy-intensive process, the choices of energy source, heating technique and heat recovery method are central to the design of the furnace and affect the environmental performance and energy efficiency

Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Glass Manufacturing

of the melting operation, that comprises three components: (i) the heat of reaction to form the glass from the raw materials (0.49 GJ/tonne); (ii) the heat required, enthalpy, to raise the glass temperature from 20 to 1500°C (1.89 GJ/tonne); and (iii) the heat content of the gases (principally CO₂) released from the batch during melting (0.30 GJ/tonne). This operation accounts for over 75 % of the total energy requirements of glass manufacture. A modern regenerative container furnace presents an overall thermal efficiency of around 50% (maximum 60%), with waste gas losses of around 30%, and structural losses the majority of the remainder. Float glass furnaces operate continuously for 12 to 15 years, and then are rebuilt with either partial or total replacement of the structure depending on its condition.

A regenerative furnace has two regenerator chambers. While one chamber is being heated by waste gas from the combustion process, the other is preheating incoming combustion air.

The batch material is continuously fed into furnace, where is applied heat above the batch blanket or batch piles and above the molten glass.

As the materials heat up, the moisture evaporates, some of the raw materials decompose and the gases trapped in the raw materials escape. The first reaction is decarbonization (500 °C). Then, raw materials begin to melt (750 - 1200 °C). Firstly, the sand begins to dissolve under the influence of the fluxing agents and the silica from the sand combines with the sodium oxide from the soda ash and with other batch materials to form silicates. Simultaneously, large amounts of gases escape due the decomposition of the hydrates, carbonates, nitrates and sulfates, giving off water, carbon dioxide, oxides of nitrogen, and oxides of sulfur. The loss of gases and the elimination of interstitial spaces result in a volume of the melt about 35 - 50 % of the volume of the virgin batch materials. Finally, the glass melt becomes transparent and the melting phase is completed.

The elimination of the bubbles from the melt is defined as the (re)fining process, consisting of primary fining (bubble growth, bubble ascension and gas stripping from the melt) and secondary fining (dissolution of bubbles in the melt during controlled cooling).

A conditioning phase at lower temperatures follows the primary melting and fining stages. During this phase, all remaining soluble bubbles are reabsorbed into the melt. At the same time, the melt cools slowly to a working temperature of between 900 and 1350 °C.

In continuous furnaces, the melting phases occur simultaneously through different zones in the tank, where primary melting, fining, and conditioning occur.

The mass of molten glass in the furnace is held constant for a residence time of 60 – 72 hours and then flows from the furnace along a refractory-lined canal, from where pours to float bath to be formed.

- 1.3 Glass forming

This process did not need to be decomposed because it was already at the last level of hierarchical decomposition and its decomposition already resulted in sources of pollution.

In this stage, molten glass (1000 °C) is poured onto a bath of molten tin, about 55 to 60 m long, 4 to 10 m wide and divided into 15 to 20 bays. The tank is airtight and a slightly reducing atmosphere (nitrogen and hydrogen) is maintained to prevent the oxidation of the tin surface, which would damage the contact with the glass. At the exit of the float bath, the glass ribbon (600 °C) is taken out by lift-out rollers, and is driven to finishing process. The resulting glass ribbon presents upper and lower surfaces parallel, uniform thickness and almost perfect flatness due the influence of gravity and surface tension.

Molten tin is chosen as bath liquid because it remains liquid over the required temperature range and without a significant vapour pressure.

- 1.4 Glass finishing

This process did not need to be decomposed since it was already at the last level of hierarchical decomposition and its decomposition already resulted in sources of pollution.

On-line coating processes by atmospheric pressure chemical vapour deposition (CVD) can be applied to improve the performance of the product (e.g. low-emissivity glazing), using the following raw materials: tin tetrachloride (SnCl₄), hydrofluoric acid (HF), methanol (CH₃OH), and a silane (SiH₄). The ribbon of glass is coated whilst hot by the impingement onto its surface of a silicon-based undercoat and a fluorine-doped tin oxide topcoat.

After that, glass passes through a temperature-controlled tunnel, the lehr, to be annealed. At the beginning of the lehr, sulfur dioxide is sprayed on both sides of the ribbon, to protect the glass against the contact of the rollers. The lehr is divided into sections in which there is heating and indirect or direct cooling by forced and natural convection. Glass is gradually cooled from 600 to 60 °C to reduce residual stresses caused during the forming process to an acceptable level.

Finally, the cooled glass ribbon is cut on-line by a travelling cutter. The edges of the ribbon that bear roller marks are cut off and recycled to the furnace as cullet. The glass sheets are then inspected, packed and dispatched.

C. Step 3 – Identify pollution sources

Processes in last level of hierarchical decomposition was selected in order to identify if there were sources of pollution with: (i) emissions to air; (ii) releases to water; (iii) releases to land; and/or (iv) waste generation. Each source was identified with a unique code, to ensure the traceability of information throughout the analysis.

As result, the PSD framework was obtained, as shown in Fig. 3. Continuous border boxes represent the processes, while boxes with dotted edges represent the sources of pollution identified for a given process in the last level of hierarchical decomposition. It was identified 27 sources of pollution, being 17 sources referring to materials handling, 2 sources associated to glass melting, 2 sources tied to glass forming, and 6 sources referring to glass finishing.

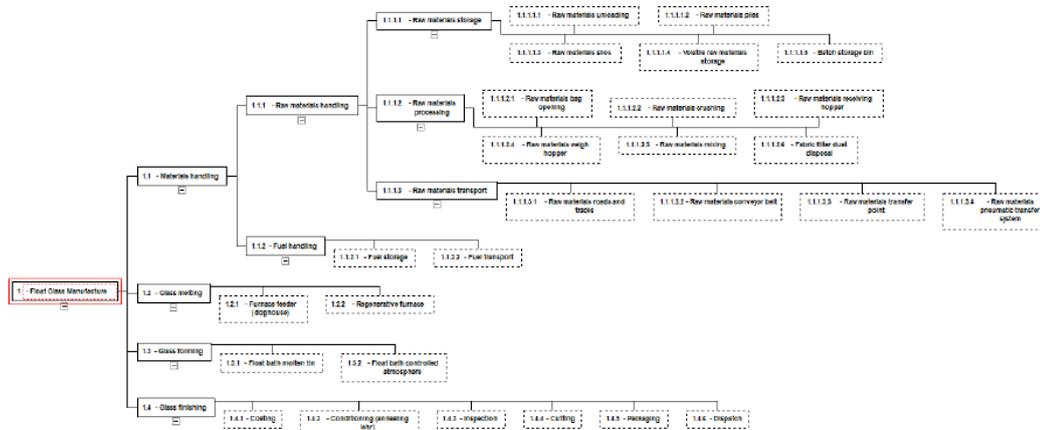


Fig. 3. Pollution Sources Diagram applied to float glass manufacturing.

D. Step 4 – Describe the pollution source

The pollution sources identified in Step 3 were grouped considering similarity criteria and were described according to specialized literature, especially [17], and complementarily [9, 15, 16, 18, 19, 20]. Both primary techniques (those which reduce or prevent the formation of the pollutants) and secondary techniques (those which act on the pollutants to render them less harmful (e.g. by converting them to other species) or to collect them in a form that can be reused, recycled or disposed of) were considered. The results are presented below:

- Sources: 1.1.1.1.1 Raw materials unloading, 1.1.1.1.2 Raw materials piles, and 1.1.1.3.1 Raw materials roads and tracks.
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: particulate matter (PM) (diffuse dust emissions).
 - Pollutants prevention measures: (i) stockpiles of coarse dusty materials can be stored under cover to prevent windborne emissions; (ii) external storage of cullet is a potential source of dust, fugitive emissions and eventually odour deriving from the organic residues; (iii) use of road cleaning vehicles and water damping techniques.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: Not applicable (N/A).
- Environmental aspect: releases to water.
- Pollutants generated: total suspended solids (TSS) (solids dragged to surface water drainage).
- Pollutants prevention measures: enclose dusty operations.
- Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: standard pollution control techniques, if necessary (settlement, screening, oil separators, and neutralization).
- Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: a periodic monitoring

of parameters such as temperature, pH, and TSS may be applied.

- Sources: 1.1.1.3.2 Raw materials conveyor belt and 1.1.1.3.3 Raw materials transfer point.
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: PM.
 - Pollutants prevention measures: use enclosed conveyors to prevent material loss and closure of transfer points.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: Fabric filter in transfer points, if necessary. Waste generated: dust.
 - Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: No data (N/D).
- Sources: 1.1.1.1.3 Raw materials silos, 1.1.1.1.5 Batch storage bin, and 1.1.1.3.4 Raw materials pneumatic transfer system
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: PM.
 - Pollutants prevention measures: (i) store bulk powder materials in enclosed silos equipped with a dust abatement system; (ii) store fine materials in enclosed containers or sealed bags; and (iii) apply a sealed system equipped with a filter to clean the transport air before release, where pneumatic conveying is used.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: fabric filter (FF) (<math>< 5 \text{ mg/Nm}^3</math>). Waste: dust from off-gas cleaning units.
 - Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: N/D.
- Environmental aspect: waste generation.
- Waste identification: dust.
- Prevention measures: See pollutants prevention measures item above.
- Prevention measures: Recycling of dust in the batch formulation where quality requirements allow for it.
- Environmental aspect: waste generation.
- Waste identification: material losses.

Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Glass Manufacturing

- Prevention measures: minimizing material losses during the storage of raw materials.
 - Waste destination: recycling of waste batch materials, where quality requirements allow for it.
- Sources: 1.1.1.2.1 Raw materials bag opening, 1.1.1.2.1 Raw materials crushing, 1.1.1.2.3 Raw materials receiving hopper, 1.1.1.2.4 Raw materials weigh hopper, 1.1.1.2.5 Raw materials mixing, 1.1.1.2.6 Fabric filter dust disposal, and 1.2.1 Furnace feeder (doghouse).
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: PM.
 - Pollutants prevention measures: moistening of the batch and mobile and stationary vacuum cleaning.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: FF (<5 mg/Nm³); waste: dust arising from off-gas cleaning units.
 - Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: N/D.
 - Environmental aspect: waste generation.
 - Waste identification: dust.
 - Prevention measures: See pollutants prevention measures item above.
 - Waste destination: Recycling of dust in the batch formulation where quality requirements allow for it. Recycled filter dust acts as a substitution for sulfur-containing virgin raw materials in glass productions using sulfate as fining agent.
- Environmental aspect: waste generation.
 - Waste identification: material losses.
 - Prevention measures: minimizing material losses during the handling of raw materials.
 - Waste destination: recycling of waste batch materials, where quality requirements allow for it.
- Sources: 1.1.1.1.4 Volatile raw materials storage, 1.1.2.1 Fuel storage, and 1.1.2.2 Fuel transport.
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: volatile organic compounds (VOC).
 - Pollutants prevention measures: (i) use of tank paint with low solar absorbency for bulk storage subject to temperature changes due to solar heating; (ii) control of temperature in the storage of volatile raw materials; (iii) tank insulation in the storage of volatile raw materials; (iv) inventory management; (v) use of floating roof tanks in the storage of large quantities of volatile petroleum products; (vi) use of vapour return transfer systems in the transfer of volatile fluids (e.g. from tank trucks to storage tank). (vii) use of bladder roof tanks in the storage of liquid raw materials; (viii) use of pressure/vacuum valves in tanks designed to withstand pressure fluctuations; and (ix) application of subsurface filling in the storage of liquids that tend to foam.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: application of a release treatment (e.g. adsorption, absorption, condensation) in the storage of hazardous materials.
- Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: N/D.
- Environmental aspect: releases to water and land.
 - Pollutants generated: oil contamination (water and land); biological chemical demand (BOD), and chemical oxygen demand (COD) (water) (from spillages or leaks from raw material storage and drainage water from areas contaminated with liquid materials).
 - Pollutants prevention measures: (i) minimization of spillages and leaks; (ii) provision of adequately sized containment (bundling); (iii) inspection/testing of tanks and bunding to ensure integrity; (iv) overfill protection (cut off valves, alarms, etc.); and (v) positioning of vents and filling points within the bund or other containment.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: oil separators and, if necessary, physical/chemical treatment.
 - Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: The periodic monitoring of parameters such as temperature, pH, and total suspended solids (TSS) may be applied.
- Source 1.2.2 Regenerative furnace [17]:
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: The main environmental pollutants arising from melting are: the products of fossil fuel combustion and the high-temperature oxidation of nitrogen in the combustion atmosphere (i.e. sulfur dioxide, carbon dioxide, and nitrogen oxides); particulate matter arising mainly from the volatilization and subsequent condensation of volatile batch materials; and gases emitted from the raw materials and melt during the melting processes. More specifically, the pollutants are:
 - (i) Particulate matter (PM): the main PM sources in melting furnace are: (a) volatilization of batch components from the molten glass and subsequent condensation into submicron dust particles; (b) carryover of fine material in the batch; and (c) product of combustion of fossil fuels. The major constituent of dust from soda-lime silica glass production is sodium sulfate (up to 95 %) with a formation temperature at 800 °C. Sodium sulfate is not considered harmful in itself, however the emission of particles with a diameter of less than 10 micrometers (PM10) and less than 2.5 micrometers (PM2.5), presents a potential for causing health problems and environmental damage.
 - (ii) Nitrogen oxides (NO_x): includes nitric oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO₂) and is expressed as the NO₂ equivalent. The three main sources of NO_x emissions are raw materials, fuel and thermal NO_x. A fourth source, prompt NO_x, from the reaction of nitrogen by a complex route with short-lived hydrocarbon radicals, is relatively insignificant.

The decomposition of nitrogen compounds in the batch materials leads to generation of NO_x, as well as the oxidation of nitrogen contained in fuels, but the overall contribution is low in comparison with thermal NO_x, which is formed due to the elevated temperatures in glass furnaces (up to 1650 °C and up to 2500 °C in the flame). Thermal NO_x arises from the oxidation of nitrogen in the combustion atmosphere at temperatures above 1300 °C. The main sources of the nitrogen are combustion air, atomizing air (in oil-fired furnaces), nitrogen content in the natural gas (in the case of oxy-fuel combustion), and air leakage into the furnace. The predominant species is NO (90-95 %) formed by reaction between N₂ and O₂.

(iii) Sulfur oxides (SO_x): includes sulfur dioxide (SO₂) and sulfur trioxide (SO₃) and is expressed as the SO₂ equivalent. The two main sources of sulfur oxides emissions are the oxidation of sulfur in fuels (in oil-fired processes) and the decomposition/oxidation of sulfur compounds in batch materials (e.g. sulfates). Typical ranges of SO_x emissions (as SO₂) from soda-lime glass furnaces, with fuel oil (1% Sulfur) and natural gas, without the application of secondary measures, are, respectively, 1200 – 1800 and 300 – 1000 mg/Nm³.

(iv) HCl and HF: emissions are due to the intentional (desired product qualities) or non-intentional (impurities) presence of these substances in the batch materials (external cullet, synthetic soda ash, dolomite, post-consumer glass cullet, plastics in external recycling cullet, and recycled dusts from abatement equipments).

(v) Metals (e.g. V, Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As, Cd): present as minor impurities in some raw materials, post-consumer cullet, and fuels.

(vi) Carbon dioxide (CO₂): the main sources are combustion of fossil fuels and decomposition of carbonates in the batch materials (e.g. soda ash, limestone). Emissions of CO₂ strongly depend on the energy efficiency of the melting process and may vary significantly when primary or secondary techniques are applied for the control of other pollutants. An interesting fact is, however, the reduction in CO₂ emissions achieved, during the lifetime of the glass, by using energy efficient glass products will outweigh by far those created in manufacturing the glass.

(vii) Carbon monoxide (CO): product of incomplete combustion. It is rarely emitted from glass industry installations at a level to cause environmental concern.

- Pollutants prevention measures:

(i) PM: (a) application of a slightly negative pressure within the furnace; (b) a percentage of water can be maintained in the batch, usually 0 – 4 %, to reduce dust during conveying and carryover of fine particles out of the furnace; (c) raw material modifications, with the scope of reducing volatile components; (d) temperature reduction at the melt surface, because

more volatile species are generated at higher temperatures; (e) burner positioning, because a high gas velocity or a high level of turbulence at the surface of the melt increase the rate of volatilization; and (f) conversion to gas firing or very low sulfur oils; and (g) perform a constant monitoring of the operational parameters and a programmed maintenance of the melting furnace, with the aim of minimizing the ageing effects on the furnace (sealing the furnace and burner blocks, keep the maximum insulation, control the stabilized flame conditions, control the fuel/air ratio, etc).

(ii) NO_x: The reduction in thermal NO_x is a result of a combination of factors but principally, lower temperatures and reduced combustion air levels. The main techniques to minimize thermal NO_x are:

(a) Combustion modifications: reduction of air/fuel ratio to near stoichiometric levels; staged combustion: if the fuel and air/oxygen are injected at the same place in the burner, a flame is produced with a hot oxidizing primary zone close to the port, associated to the majority of the NO_x produced and a cooler secondary zone further away; flue-gas recirculation: waste gas from the furnace can be reinjected into the flame to reduce the oxygen content and therefore the temperature and the NO_x formation; fuel choice: the general experience within the glass industry is that gas-fired furnaces result in higher NO_x emissions than oil-fired furnaces. In general, when using fuel oil instead of natural gas are observed energy consumption savings about 5 %, because the gas flames have a lower thermal emissivity than fuel oil flames, requiring higher flame temperatures to enable the same heat transfer to the glass melt and thus more favorable conditions for NO_x formation. Another widespread technique is the use of low-NO_x burners, that are burner systems designed to minimize NO_x formation. The key features of low-NO_x burner systems are:

- Slower mixing of fuel and air to reduce peak flame temperatures (flame shaping);
- Minimum injection velocities that still allow complete combustion (delayed but complete combustion);
- Increased (radiation) emissivity of the flame, with optimization of the heat transfer to the glass melt. Therefore, a lower temperature level can still provide the required energy for melting due to the high flame luminosity (effective emission of heat);
- Different nozzles and nozzle designs enable to generate multiple fuel jets per burner;
- Complete combustion with the minimum air/fuel ratio.

Reduction of combustion air temperature sometimes is pointed out as a technique for controlling emissions to air from melting activities. However, the lower preheat temperature results in a lower furnace efficiency, lower fuel efficiency and thus higher fuel demand and potentially higher emissions (kg/tonne of glass) of NO_x, CO₂, oxides of sulfur, particulate, etc.

Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Glass Manufacturing

Thus overall, this technique is unlikely to be of environmental or economic benefit.

(b) FENIX process: It is based on the combination of many primary techniques for the optimization of the combustion of cross-fired regenerative float furnaces. The key features are: reduction of excess air; suppression of hotspots and homogenization of the flame temperatures; and controlled mixing of the fuel and combustion air, without giving rise to glass quality problems or carbon monoxide emissions. AELs for NO_x emissions from the melting furnace in the flat glass sector considering combustion modifications and Fenix process are 700 – 800 mg/Nm³ and 1.75 – 2.0 kg/tonne melted glass.

(c) Oxy-fuel melting: involves the replacement of the combustion air with oxygen (>90 % purity). The technique can be used with either natural gas (more common) or oil as the fuel. Associated emissions levels for Oxy-fuel melting are <1.25 – 2.0 kg/tonne melted glass. The estimated cost for NO_x removal is between EUR 3 and 5 per kg NO_x removed.

(iii) SO_x: The main techniques to minimize this pollutant are: (a) use of low sulfur content fuels: the conversion to a lower sulfur content fuel generally results in increased costs due to the higher fuel price; and (b) minimization of the sulfur content in the batch formulation and optimization of the sulfur balance. Sulfates are used as fining and oxidizing agents. Sodium sulfate, the most common sulfate used, during melting and fining dissociates to give gaseous SO₂, O₂ and Na₂O which is incorporated into the glass. It must be noted that an excessive reduction of the amount of sulfur otherwise can generate glass product with quality problems. Typical emissions associated with fining and oxidizing agents are 200 – 800 mg/Nm³ and 0.2 – 1.8 kg/tonne of glass melted.

(iv) HCl and HF: The main techniques to minimize these pollutants are: (a) selection of raw materials for the batch formulation with a low content of chlorine and fluorine, in order to reduce emissions from the decomposition of these materials during the melting process; (b) minimization of the fluorine and/or chlorine compounds in the batch formulation and optimization of the fluorine and/or chlorine mass balance.

(v) Metals: Selection of raw materials for the batch formulation with a low content of metals in order to reduce metal emissions during the melting process.

(vi) CO₂: emissions of CO₂ strongly depend on the energy efficiency of the melting process. To reduce the specific energy consumption one or a combination of the following techniques can be adopted: (a) process optimization, through the control of the operating parameters; (b) regular maintenance of the melting furnace; (c) optimization of the furnace design and the selection of the melting technique; (d) application of combustion control techniques; (e) use of increasing levels of cullet, where available and economically and technically viable; (f) use of a waste heat boiler for energy recovery, where

technically and economically viable; and (g) use of batch and cullet preheating, where technically and economically viable.

(vii) CO: The main techniques to minimize this pollutant are: (a) regular maintenance of the melting furnace; and (b) application of combustion control techniques.

- Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste:

(i) PM: electrostatic precipitator (ESP) and fabric filters (FF):

(a) ESP: in regenerative furnaces, the waste gas temperature is generally around 400 °C and cooling is not usually required either to condense volatiles or to achieve the ESP operating limits. In the flat glass sector, dust emissions associated with the use of an ESP, combined with an acid gas scrubbing system, are in the range of <10 – 20 mg/Nm³ and <0.025 – 0.05 kg/tonne melted glass. The specific costs may vary between EUR 3.9 and 4.8 per tonne of melted glass when the filter dust is completely recycled to the furnace, and about EUR 1.5 – 2 higher, in the case of total disposal of the filter dust. The specific costs per kg of pollutant removed may vary between EUR 9 and 15 per kg of dust removed and between EUR 0.45 and 0.7 per kg of SO₂ removed, depending on the capacity of the furnace and operating conditions.

(b) FF: bag filter systems does not represent the best option for float glass furnaces for some reasons: the control of the pressure in the furnace is critical to ensuring the high glass quality and FF is associated to high pressure drop, being very difficult to operate; there are difficulties to condition the flue-gas at low temperatures required for bag filters; low operating temperatures are not suitable for the operational conditions of the catalyst, when selective catalytic reduction (SCR) is used; for large gas volumes, the specific costs of bag filters combined with a dry scrubbing stage are comparable or even higher than for an ESP plus a scrubber system; it can be necessary to install a scrubbing stage upstream of the filter, to prevent acid condensation and damage to bag materials, if the flue-gases are likely to contain acidic species (e.g. oil-fired furnaces).

(ii) NO_x: Chemical reduction by fuel (CRF) or Selective catalytic reduction (SCR):

(a) CRF: in these techniques, fuel (e.g. natural gas or oil) is added to the waste gas stream to chemically reduce NO_x to N₂. The fuel pyrolyzes to form radicals which react with the components of the flue-gas to form H₂O and N₂. The main CRF technique in the glass industry is the 3R process (reaction and reduction in regenerators), that is restricted to regenerative furnaces. There are two main stages involved in the 3R process: deNO_x and burnout. In the deNO_x stage there are two principle mechanisms: the first involving the reaction between 3R fuel radicals and NO and the second mechanism occurring as the waste gases pass down through the regenerator

checkerwork, where the CO and H₂ reduce the majority of the remaining NO to N₂. The second stage involves the burnout of reduced species (mainly unreacted CO and H₂). These species are oxidized by the controlled supply of air into the flue-gases below the regenerator. The emission levels achieved with the application of 3R on regenerative float glass furnaces are in the range of 1.0 – 1.5 kg/tonne of melted glass. An overall NO_x reduction about 70 – 85 % such as NO_x emission concentration levels down to 500 mg/Nm³ (at 8 % O₂ dry volume) or lower can be achieved. The emissions reduction costs are EUR 1.4 – 1.8 per kg NO_x removed.

(b) SCR: involves reacting NO_x with ammonia in a catalytic bed at the appropriate temperature. The ammonia is injected upstream of the catalyst either as liquid NH₃ or as an aqueous solution. The use of a double layer catalyst will improve the removal efficiency of NO_x and lower the ammonia slippage. The most common catalysts are V₂O₅ (vanadium oxide) and TiO₂ (titanium oxide) impregnated onto a metallic or a ceramic substrate. Zeolite molecular sieves can also be used. These reactions normally take place at around 950 °C, but the presence of the catalyst lowers the temperature by absorbing the NH₃ which reacts with the NO from the gas phase. It is very important to maintain the correct operating temperature (200 – 500 °C with the optimum 300 – 450 °C). SCR requires a dust concentration of below 10 – 15 mg/Nm³ and a desulfurization system for the removal of SO_x. Due to the optimum operating temperature window, the applicability is limited to the use of electrostatic precipitators. The associated emission levels are in the range of 400 – 500 mg/Nm³ NO_x. The typical additional production costs for float glass are about EUR 2.5/tonne melted glass and the specific emissions reduction costs are about EUR 0.7 – 0.9 per kg NO_x removed. Waste material is produced when the catalyst must be renewed after its lifetime, typically around 4 – 5 years.

(iii) SO₂: Dry or semi-dry scrubber using calcium hydroxide (Ca(OH)₂), sodium carbonate (Na₂CO₃) or sodium bicarbonate (NaHCO₃) in combination with ESP. In dry process, the reactive material (absorbent) is injected as fine powder (with a specific surface area of up to 40 m²/g) and dispersed in the waste gas stream and reacts with SO_x to form a solid. The most common scrubbing process used in the glass industry is the dry process with an ESP using calcium hydroxide as the absorbent, because it achieves a good abatement rate at a temperature of 400 °C, which can be achieved in the waste gas without cooling and is within the operating range of an electrostatic precipitator. It is important to note that absorbents chosen to remove SO_x are also effective in removing other acidic gases, particularly halides (HCl and HF). In the semi-dry process, the absorbent (usually Na₂CO₃, CaO or Ca(OH)₂) is added as a suspension or solution and water evaporation cools the gas stream.

In general, the abatement rate depends strongly on the following parameters: type of scrubber; composition of the flue-gas; temperature of the flue-gas; humidity of the flue-gas; molar ratio of absorption agent/acid gases; filtration system; and type of reagent.

The associated emission levels related to the use of 1 % sulfur fuel oil in combination with secondary abatement techniques are: <300 – 500 mg/Nm³ and <0.75 – 1.25 kg/tonne melted glass (natural gas); and 500 – 1300 mg/Nm³ and 1.25 – 3.25 kg/tonne melted glass (fuel oil).

The techniques generate a significant amount of solid residue, but in most applications this material can be recycled to the furnace. Therefore, in order to reduce acid gas emissions, it may be necessary to consider an external disposal route for a portion of the collected dust. External recycling or reuse would be preferable to landfill, however, in most cases there is no economically viable external reuse option for the material. Besides that, existing legislative requirements defining such materials as waste may act as additional barriers to external recycling. The associated specific costs for typical dry scrubbing applications when an ESP is applied are about EUR 4 – 6.5 per tonne glass. When semi-dry scrubbing systems are used the costs are 50 – 100 % higher.

(iv) HCl and HF: Dry or semi-dry scrubber using calcium hydroxide, sodium carbonate or sodium bicarbonate in combination with ESP. The choice of absorbent is important and there is sometimes a need to trade off between the reduction of SO₂ and the reduction of HF and HCl. Dry powder or a suspension/solution of alkaline reagent are introduced and dispersed in the waste gas stream and reacts with the gaseous chlorides and fluorides to form a solid which has to be removed by filtration (electrostatic precipitator or bag filter). The associated emission levels are: <10 – 25 mg/Nm³ and <0.025-0.0625 kg/tonne melted glass (HCl); and <1 – 4 mg/Nm³ and <0.0025-0.010 kg/tonne melted glass (HF).

(v) Metals: Dry or semi-dry scrubber in combination with ESP. The associated emission levels are: <0.2 – 1 mg/Nm³ and <0.5 – 2.5 x 10⁻³ kg/tonne melted glass (The sum of As, Co, Ni, Cd, Se, Cr_{VI}); and <1 – 5 mg/Nm³ and <2.5 – 12.5 x 10⁻³ kg/tonne melted glass (The sum of (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr_{VI}, Sb, Pb, Cr_{III}, Cu, Mn, V, Sn)). In the flat glass sector for the production of colored glass, selenium compounds, expressed as Se, must be also monitored. The emission levels in this case are 1 – 3 mg/Nm³ and 2.5 – 7.5 x 10⁻³ kg/tonne melted glass.

- Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: (i) estimation method: BREF Glass [17]; USEPA AP42 CH11.15 (PM, SO_x, NO_x, CO, and VOC) [18]; Normally, the emission limit values are given in concentrations referred to 0 °C, 101.3 kPa and, for continuous melting furnaces, 8 % oxygen by volume, dry. (ii) monitoring: the parameters that could be measured continuously and

Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Glass Manufacturing

discontinuously, and the suggested methods related, are presented in Tables III e IV, respectively.

Table III. Parameters that could be measured continuously and the suggested methods [17].

Parameter	Method
Oxygen	Paramagnetic, zirconium oxide cell
Dust	Light opacity, light scattering
Nitrogen oxide (NO)	Infrared or UV photometry, chemi-luminescence
Nitrogen oxides (NO + NO ₂)	Infrared or UV photometry, chemi-luminescence equipped with converter (NO ₂ to NO)
Sulfur dioxide	Infrared or UV photometry
Carbon monoxide	Infrared photometry
Total hydrocarbons	Flame ionization detector (FID)

Table IV. Parameters that could be measured discontinuously and the suggested methods [17].

Parameter	Method
Dust	Filtration and gravimetric determination
Nitrogen oxides (NO + NO ₂)	IR or UV photometry, chemi-luminescence. Absorption in a suitable solution and chemical determination (colorimetry, ion chromatography, etc.)
Sulfur dioxide (SO ₂)	IR or UV photometry
Oxides of sulfur (SO ₂ + SO ₃)	Absorption in a suitable solution and chemical determination (titration, ion chromatography, ICP)
Sulfur oxide (SO ₃)	Absorption in a suitable solution and chemical determination (titration, ion chromatography)
Metals (As, Pb, Cd, Se, Cr, Cu, V, Mn, Ni, Co, Sb, etc.)	Filtration and/or absorption in a suitable solution. Determination by AAS, ICP
Selenium as Se (particulate + gaseous)	Absorption in a suitable solution and chemical determination (e.g. HGAAS, ICP, etc.)
Boron compounds (particulate + gaseous)	Absorption in water and chemical determination (ICP, titration, colourimetric)
Chlorides, as HCl	Filtration and absorption in suitable solution. Determination by ion chromatography, titration
Fluorides, as HF	Filtration and absorption in suitable solution. Determination by ion specific electrode, ion chromatography
Hydrogen sulfide	Filtration and absorption in a suitable solution. Ion chromatography, colourimetric determination or back titration
Formaldehyde	Absorption in a suitable solution. Colorimetric or HPLC determination
Phenol	Absorption in suitable solution. Gas (liquid) chromatography or colourimetric determination
Ammonia	Absorption in suitable solution. Ion chromatography, colourimetric or ion selective electrode determination
Amines	Absorption in a suitable solution or silica gel. GC, HPLC or GC-MS determination
Volatile organic compounds (VOC)	Flame ionization detector (FID)
Oxygen	Paramagnetic, zirconium oxide cell
Carbon monoxide	IR photometry
Carbon dioxide	IR photometry

- Environmental aspect: waste generation.
- Waste identification: dust.
- Prevention measures: See prevention measures above.
- Waste destination: Recycling of dust in the batch formulation where quality requirements allow for it. Recycled filter dust acts as a substitution for sulfur-containing virgin raw materials in glass productions using sulfate as fining agent.

- Environmental aspect: waste generation.
 - Waste identification: end-of-life refractory materials.
 - Prevention measures: valorization of this material for possible use in other industries.
 - Waste destination: external reutilization.
- Source 1.3.1 Float bath molten tin
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: Tin vapors. If the float bath is correctly operated, there are no appreciable emissions.
 - Pollutants prevention measures: proper and complete equipment maintenance, and good operating conditions.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: N/A.
 - Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: N/A.
 - Source 1.3.1 Float bath controlled atmosphere
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: Hydrogen (H₂). If the float bath atmosphere is correctly operated, there are no appreciable emissions.
 - Pollutants prevention measures: proper and complete equipment maintenance, and good operating conditions.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: N/A.
 - Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: N/A.
 - Source 1.4.1 Coating:
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: (a) PM, HCl, HF, VOC and metals from atmospheric pressure chemical vapour deposition raw materials (tin tetrachloride (SnCl₄), hydrofluoric acid (HF), methanol (CH₃OH), and silane (SiH₄)); and (b) combustion products from thermal incinerator (PM, CO, CO₂, NO_x, SO_x).
 - Pollutants prevention measures: minimizing the losses of coating products applied to the flat glass by ensuring a good sealing of the application system.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: thermal incinerator and bag filter (undercoat stage) - emissions pass through a thermal incinerator to destroy any organics, the waste gas is cooled and the solids (amorphous silica) are removed by a bag filter. The collected material is recycled to the furnace; and ESP and packed bed chemical scrubber (topcoating stage) - the waste gases, which contain halides and tin compounds, are passed through a high-temperature reactor to oxidize the tin compounds. The solid tin oxide is removed by an electrostatic precipitator and the halides are removed in a packed bed chemical scrubber. The emission levels achieved are: PM: 15 mg/Nm³; HCl: 5 mg/Nm³; HF: <1 mg/Nm³; Metals: <5 mg/Nm³.

- Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: N/D.
 - Source 1.4.2 Conditioning (annealing Lehr):
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: (a) SO₂. If the process is properly operated, emissions are low (150 - 300 mg/Nm³ and 0.02 – 0.04 kg/tonne glass); and (b) combustion products (PM, CO, CO₂, NO_x, SO_x).
 - Pollutants prevention measures: minimizing the losses of SO₂ from the annealing Lehr, by operating the control system in an optimum manner.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: Combining the SO₂ emissions from the Lehr with the waste gas from the melting furnace, when technically feasible, and where a secondary treatment system is applied (filter and dry or semidry scrubber).
 - Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: See melting furnace considerations.
 - Environmental aspect: releases to water
 - Pollutants generated: adsorbable organic halogens (AOX), dissolved oxygen (DO), biological chemical demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), chlorine substances and phosphorus compounds and the residual effect on luminescent bacteria.
 - Pollutants prevention measures: (i) pre-treatment of cooling water (such as flocculation, precipitation, filtration or membrane technology) can reduce the water requirements, where less blowdown is required to maintain the same concentration factor; (ii) reuse of cooling and cleaning waters after purging; (iii) a zero-discharge system based technology can be applied by treating and reusing the blowdown.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: physical/chemical treatment. The resulting sludge need to be proper destined. In general, waste separated from the process water systems is not recycled and is disposed of to landfill.
 - Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: The periodic monitoring of parameters such as temperature, oxygen concentration, pH, conductivity etc. may be used to control the quality of wastewater.
 - Source Inspection: 1.4.3 Inspection and 1.4.4 Cutting
 - Environmental aspect: emissions to air.
 - Pollutants generated: PM and metals.
 - Pollutants prevention measures: N/D.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: FF (bag filter system): suitable for the reduction of both dust and metal.
 - Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: Periodic monitoring may be used if necessary.
 - Environmental aspect: waste generation.
 - Waste identification: internal cullet from rejected production (material that results out of the required specification, edge trims, waste products from changeovers, breakages, and quality samples).
 - Prevention measures: prevent product losses and breaks.
 - Waste destination: Internal recycling.
 - Source: 1.4.5 Packaging and 1.4.6 Dispatch.
 - Environmental aspect: waste generation.
 - Waste identification: plates broken during packing and shipping.
 - Prevention measures: Packing and dispatch techniques that prevent product losses and breaks.
 - Waste destination: internal recycling.
 - Environmental aspect: waste generation
 - Waste identification: packaging material scraps (e.g. plastics, paper, cardboard, and wood)
 - Prevention measures: Packing and dispatch techniques that prevent material losses and scraps.
 - Prevention measures: external recycling.
- An environmental aspect common to all sources mentioned above is the emission of noise which, in general, can be characterized as follows:
- Environmental aspect: Noise emissions
 - Pollutants generated: Noise (from vehicle movements, motors, material handling, transport belts, compressed air systems, fan (combustion air and waste gas extraction), forming machines, and cutting operations. The noise levels are may exceed the value of 85 dBA. The noise levels within the installation represent mainly an occupational health issue. Noise is not considered to be an environmental problem in the glass industry, however an assessment of the environmental impact of the glass plant should be made in relation to the proximity of the plant to sensitive receptors.
 - Pollutants prevention measures: regular maintenance of production and control equipment; make an environmental noise assessment and formulate a noise management plan as appropriate to the local environment; carry out noisy outdoor activities during the day; and use noise protection walls or natural barriers (e.g. trees, bushes) between the installation and the protected area.
 - Pollution control equipment/system or measures and associated generation of waste: The most common noise abatement techniques are the enclosure of noisy equipment/operations in separate structures and the use of embankments to screen the source of the noise.
 - Emission estimation method or environmental monitoring equipment/system: ISO 1996-1:2016, and ISO 1996-2:2017 [25], [26].

Pollution Sources Diagram Methodology Applied to Glass Manufacturing

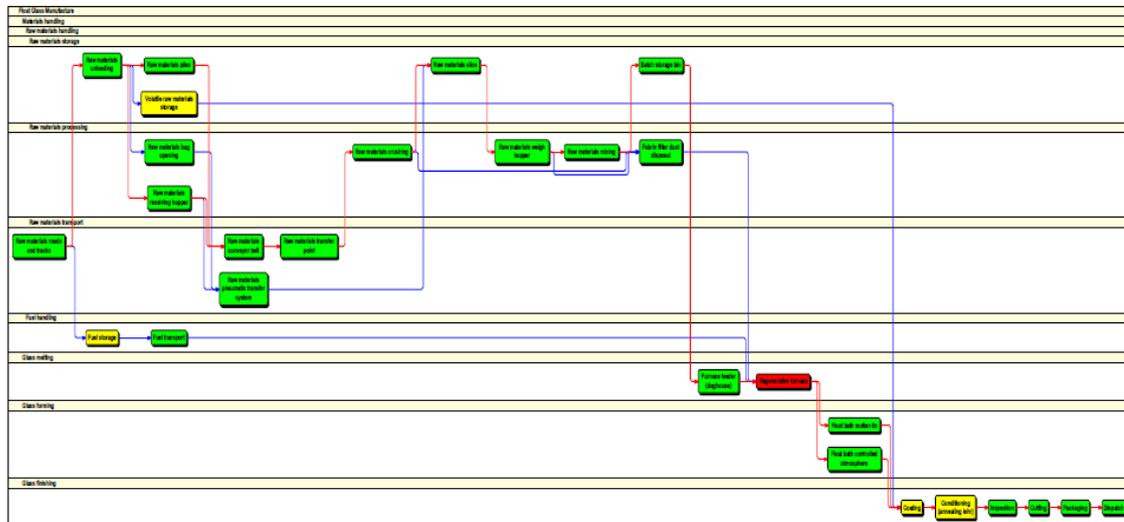


Fig. 4. Float glass manufacturing Environmental Inspection Workflow.

The environmental effects related that can be aggravated in case of non-compliance of the sources of pollution are: consumption of raw materials and water, energy consumption and contribution to climate change, photochemical ozone creation potential, acidification resulting from emissions to air, particulate matter in ambient air, eutrophication of land and waters resulting from emissions to air or water, oxygen depletion potential in water, persistent/toxic/bioaccumulable components (including metals), generation of waste, limitation of the ability to reuse or recycle waste, generation of noise and/or odour, and increased risk of accidents.

Based on the PSD results, it was applied the Precedence Diagramming Method (PDM) and obtained an Environmental Inspection Workflow (EIW), shown in Figure 4. It is a valuable tool to guide the inspector so that he can work with focus, agility, assertiveness and standard by going through an optimum path of compliance verification of environmental pollution sources. The red arrows indicate the critical path of the flow, which can be interpreted as the set of activities that, if delayed, impact the duration of the inspection as a whole. The arrows in blue indicate activities that are not in the critical path.

It is important to note that, unlike a traditional process flowchart, an optimized and customized workflow for the environmental agent's work was obtained. Emphasis was placed on environmental pollution sources, following the flow of the process, but suppressing information that is not related to the environmental aspects of interest.

A stratification based on the relevance of each source was also established based on pollution potential. For this, the predominant environmental aspect of a source was considered, the main pollutant generated and its contribution relative to the set of sources. In this way, it was considered: sources with low relevance, such as those with pollution contributions below 1% (green code); sources of medium relevance, those with contribution greater than or equal to 1% and less than 10% (yellow code); and high relevant sources, those with contribution greater than or equal to 10% (red code).

In float glass manufacturing, it was possible to identify 1 high relevant source (1.2.2 Regenerative furnace), 4 medium relevant source (1.1.1.1.4 Volatile raw materials storage; 1.1.2.1 Fuel storage; 1.4.1 Coating; and 1.4.2 Conditioning (annealing lehr); being other 22 sources classified as low relevance. These parameters can be calibrated and adjusted to other scenarios, considering criteria of convenience and opportunity.

Based on the relevance of the sources, the quantity of work related to pollution source verification activities was estimated according to relevance: low (9 min), medium (18 min) and high (60 min). As a result, a total quantity of work of 5.5 hours was obtained, that is, the inspection can be performed by 1 inspector with an estimated duration of 5.5 h. If the quantity of work was larger, the duration could be reduced by allocating another inspecting agent. However, it should be kept in mind that this is not a linearly proportional relationship, there being a point where the allocation of more inspectors results in a longer duration compared to the duration that can be achieved with a smaller number of inspectors (The law of diminishing returns).

The use of this solution allows a better planning of the licensing, post-license follow-up and inspection actions and the rational allocation of resources for conducting the inspections, optimizing the agility and quality of the service provided.

Finally, from the result of the application of the PDM was carried out the process modeling using a Business Process Management (BPM) solution, Bizagi Modeler software. The resulting workflow consolidates all the information obtained in this work (steps 1 to 4 of the PSD Methodology) and allows, in a simple and interactive way, that steps 5 to 7 are recorded for specific plants, with the generation of inspection reports automatically. If no nonconformities are observed, it is also possible the automatic issuance of technical advice to subsidize the issuance of environmental license, optimizing the technical analysis and allowing elevated level of environmental protection.

IV. DISCUSSION

A Pollution Source Diagram (PSD) was obtained, as a result of the application of the methodology at a sector level with all the necessary information to understand how the float glass process works and how its inputs, outputs and losses can impact the environment.

The main sources of pollution have been mapped and identified as well as the pollutants generated and the main prevention and control measures applicable.

The main environmental concerns found for the float glass manufacturing were emissions to air and energy consumption. Likewise, the greatest potential for environmental pollution arises from the melting activities. In general, releases to water, releases to land, and noise emission are relatively low and not represent environmental problems in the float glass industry. Regarding to waste generation, it is estimated that up to 95 % of waste glass from processing is recycled in some way.

The Pollution Sources Diagram (PSD) obtained in this work can be a useful tool to prevent and minimize environmental impacts resulting from a float glass manufacturing process and provide important feedback to environmental agencies to update policy measures and guide technical analysis in similar cases, since a database can be built and serve as a knowledge base, reducing subjectivity and lack of focus throughout the process.

Additionally, an Environmental Inspection Flowchart was obtained applying the Precedence Diagramming Method (PDM) and a BPM model was created consolidating all relevant information about pollution control in float glass manufacturing.

The results suggest that methodology can be a useful tool for environmental agencies since it allows for a faster and more complete environmental analysis, better subsidizing the decision-making process by environmental agencies.

V. CONCLUSION

In this paper was presented a pragmatic approach to establish an optimized technical analysis in the environmental licensing process, several times criticized for reasons like slowness and subjectivity. For this, PSD methodology was applied to glass industry case.

It was possible in a relatively simple framework to identify the main sources of pollution of float glass manufacturing, consolidating all the necessary information to the decision process.

The systematization of the identification and analysis of pollution sources, through an integrated and coordinated way of environmental compliance assessment, using a tool that enables the construction and updating of workflows and a knowledge base common to the technical staff can contribute for greater agility, quality, standard and assertiveness in the decisions taken by the environmental agencies and govern.

Finally, the methodology can contribute not only to the simplification of environmental licensing or of optimization the process of evaluation of environmental impacts, but also to the monitoring of these impacts, allowing the comparison

between what was planned and authorized and the reality after the granting of environmental permit or license and the consideration of aspects of synergy and cumulativity in the analysis of new industries, with better results in environmental control and quality, contributing thus to sustainable development.

REFERENCES

- [1] United Nations. "Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future". 1987.
- [2] The World Bank. "Getting to green - A Sourcebook of Pollution Management Policy Tools for Growth and Competitiveness". Washington, DC, USA. 2012.
- [3] United Nations Environment Programme (UNEP). "Environmental Impact Assessment and Strategic Environmental Assessment: Towards an Integrated Approach". Geneva, Switzerland. 2004.
- [4] Arts, J., Caldwell, P., Morrison-Saunders, A. "Environmental impact assessment follow-up: good practice and future directions - findings from a workshop at the IAIA 2000 conference". *Impact Assessment and Project Appraisal*, v. 19, n. 3, pp. 175-185. 2001.
- [5] Carvalho, A., Mimoso, A. F., Mendes, A. N., Matos, H. A. "From a literature review to a framework for environmental process impact assessment index". *Journal of Cleaner Production*, v. 64, pp. 36-62. 2014.
- [6] Marshall, R. Arts, J., Morrison-Saunders, A. "International principles for best practice EIA follow-up". *Impact Assessment and Project Appraisal*, v. 23, n. 3, pp. 175-181. 2005.
- [7] Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente (Abema). "Novas Propostas para o Licenciamento Ambiental no Brasil", pp. 24-25. 2013. Available: http://www.abema.org.br/site/arquivos_anexo/Livro_Relatorio_Final_2.pdf
- [8] França, A. L. F., Pessoa, F. L. P., Araújo, F. V. F. "Technical analysis methodology for the optimization of environmental licensing" in Sustainable Development Conference, Bangkok-Thailand, 13-15 July, pp. 194-205. 2017.
- [9] Shreve, R.N., Brink, J.A. "Indústrias de Processos Químicos". 4 ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. pp. 159-175. 2012.
- [10] Macfarlane, A. Martin, G. "A World of Glass". Science, v. 305, pp. 1407-1408. 2004.
- [11] Pilkington Inc. "The Float Process". 2017. Available: <http://www.pilkington.com/pilkington-information/about+pilkington/education/float-process/default.htm>
- [12] National Glass Association & Glass Magazine. "Map of World Glass". 2017. Available: <http://worldofglassmap.com/>
- [13] Project Management Institute (PMI). "A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)". 5th ed. Newtown Square: Project Management Institute (PMI), Inc. 2013.
- [14] Bizagi. Bizagi Business Process Modeling Notation (BPMN) Modeler. "Bizagi", 2016. Available: <http://www.bizagi.com/pt/producao/bpm-suite/modeleer>
- [15] Pulker, H. Pulker, H.K. "Coatings on glass". 2nd ed. Elsevier. 1999.
- [16] Jones, A. C., Hitchman, M. L. "Chemical Vapour Deposition: Precursors, Processes and Applications". Royal Society of Chemistry. 2009.
- [17] European Union. "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Glass - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and control". 2013. Available: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>
- [18] USEPA. "Emission Factor Documentation for AP-42 - Glass Manufacturing". Fifth Edition, Volume I, Chapter 11, 11.15. 1986. Available: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/index.html#main>
- [19] Rhyner, C.R. e colaboradores. "Waste Management and Resource Recovery". 1 ed., U.S.A.: Lewis Publishers. 1995.
- [20] Chermisinoff, N. P. "Handbook of Air Pollution Prevention and Control". Butterworth-Heinemann, USA: Elsevier Science. 2002.
- [21] European Union. "Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment". 2011. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ.L.2.012.026-FULL&from=FR>
- [22] European Union. "Directive 2014/52/EU of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 amending Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment". 2014. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ.L.2014.124-FULL&from=EN>
- [23] European Union. "Directive 2010/75/EU on industrial emissions (integrated pollution prevention and control)". 2010. Available: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ.L.2010.334.0017.01.19.en.PDF>
- [24] European Union. "Decision 2012/119/EU laying down rules concerning guidance on the collection of data and on the drawing up of BAT reference documents and on their quality assurance referred to in Directive 2010/75/EU". 2012. Available: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ.L.2012.063.0001.00.39.en.PDF>
- [25] International Organization for Standardization (ISO). "ISO 1996-1:2016 - Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures". 2016. Available: <https://www.iso.org/standard/59765.html>
- [26] International Organization for Standardization (ISO). "ISO 1996-2:2017 - Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of sound pressure levels". 2017. Available: <https://www.iso.org/standard/59766.html>